

Medical Twin 국내외 활용

Namkug Kim, PhD

Medical Imaging & Intelligent Reality Lab.
Convergence Medicine/Radiology,
University of Ulsan College of Medicine
Asan Medical Center

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Conflict of Interests

- ▶ Establishments of Somansa Inc, CyberMed Inc, Clinical Imaging Solution Inc, and Anymedi Inc.
- ▶ Researches with LG Electronics, Coreline Soft Inc., Osstem Implant, CGBio, VUNO, Kakaobrain, AnyMedi Inc.

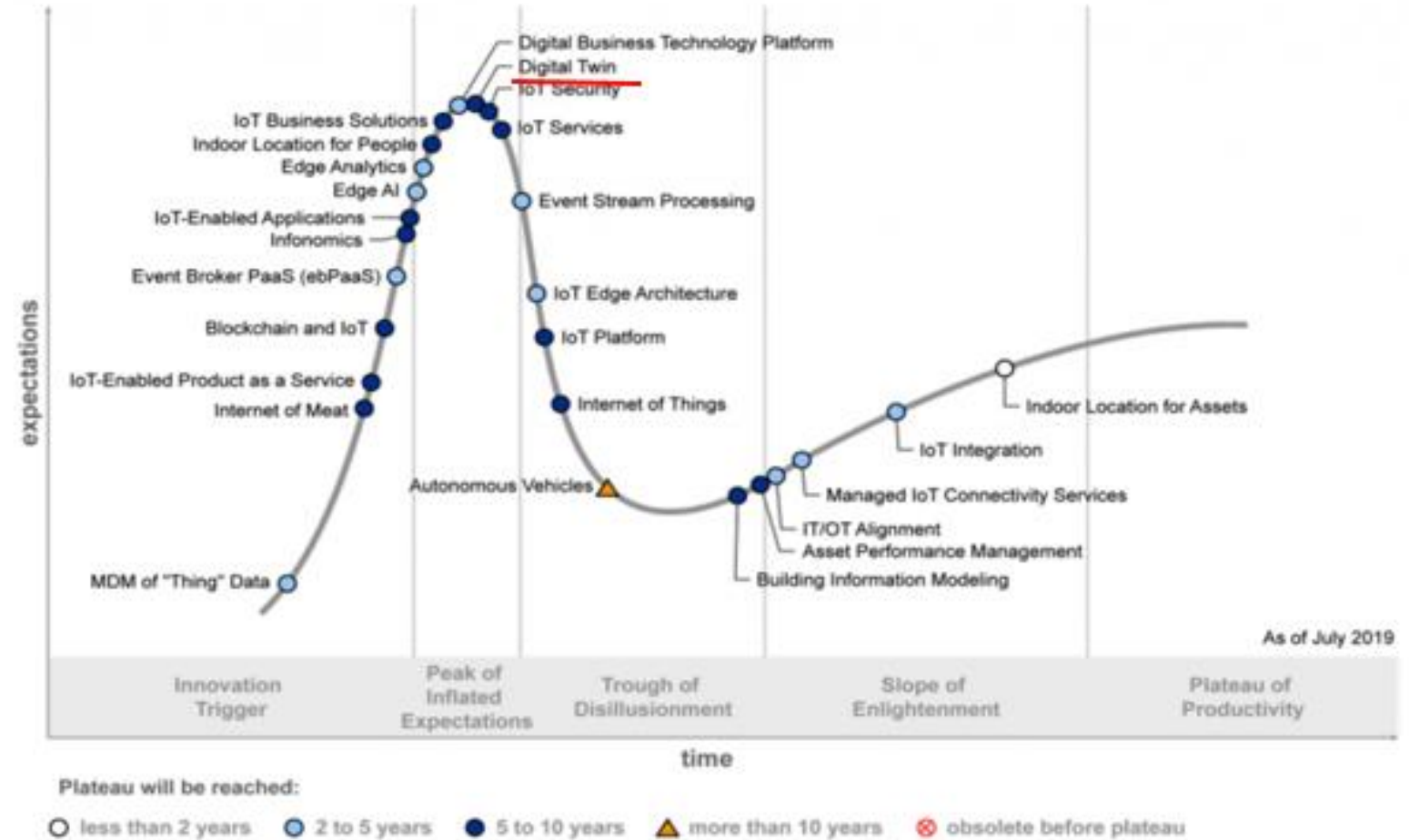


Digital Twin in AlphaGO



Hype cycle of IoT

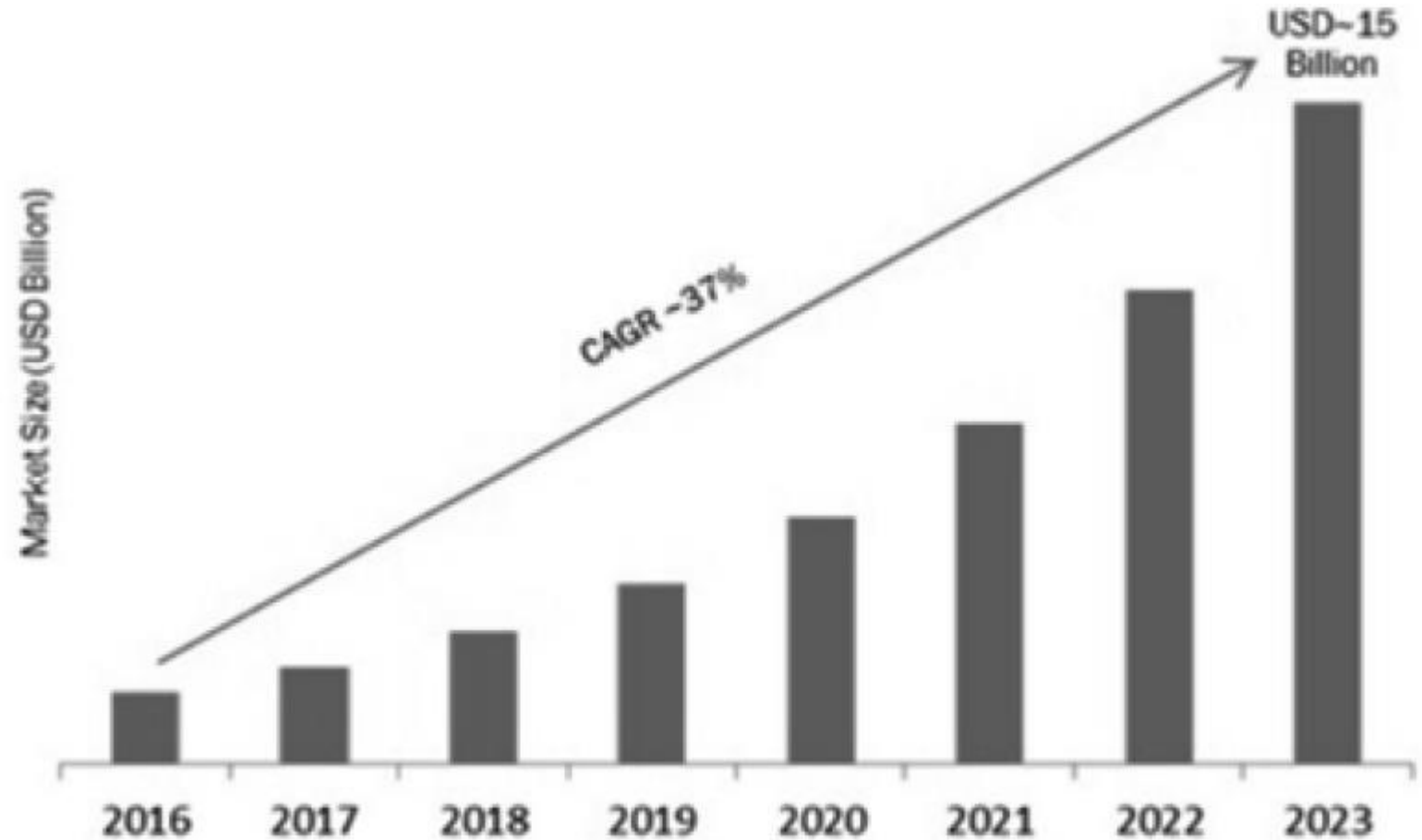
Hype Cycle for the Internet of Things, 2019



자료: Gartner(2019)

CGAR of Digital Twin

연평균성장률: 37.87% @ MRF 2018; 57.6% @ M&M 2020



. 디지털 트윈 시장 성장 전망 (출처: Market Research Future, 2018. 6)

디지털 트윈

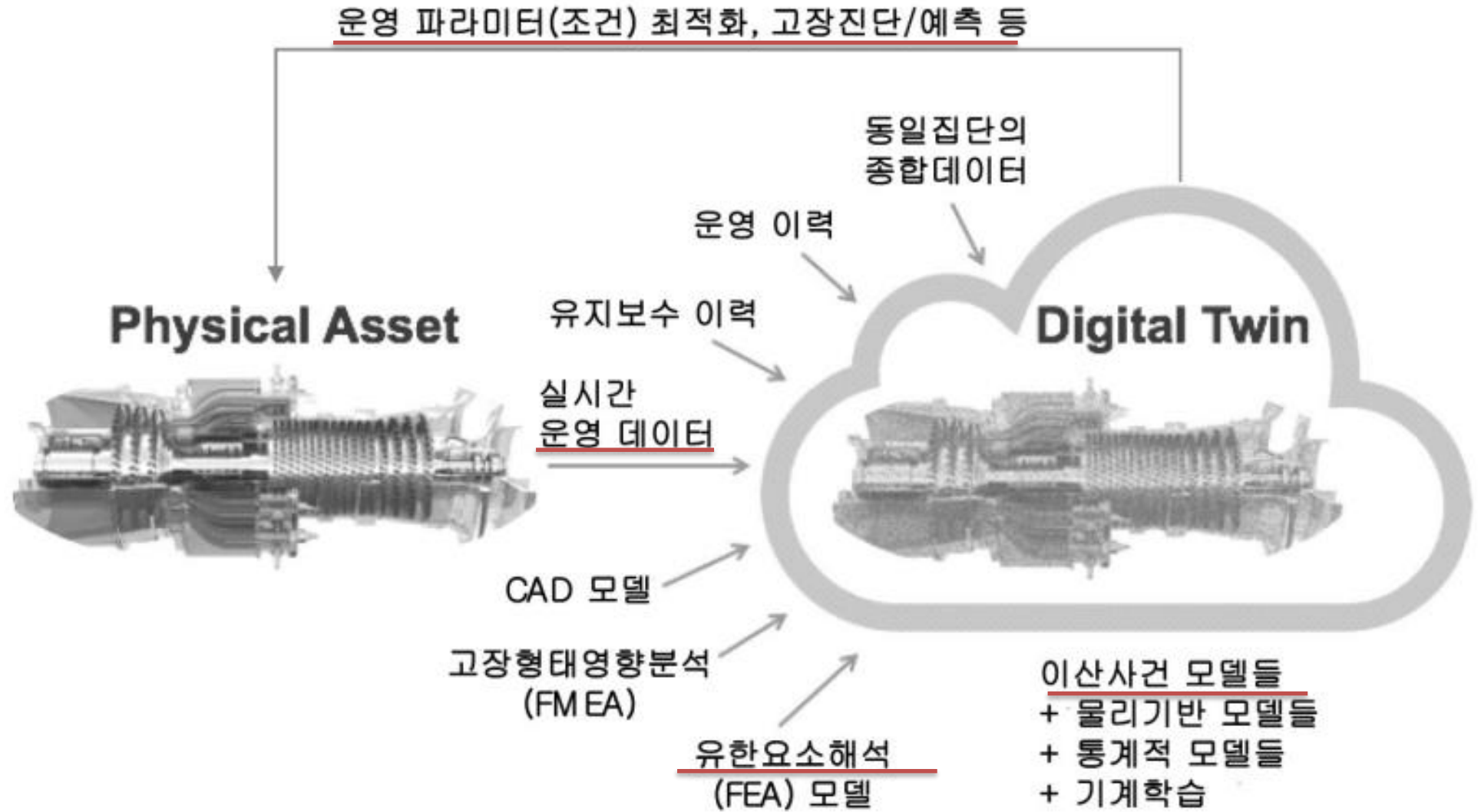
- 물리적 개체를 디지털 세계에서 구현한 가상의 모델로서 사업 실적의 최적화에 도움을 주는 물리적 물체나 프로세스의 과거와 현재 활동이 기록돼 진화하는 디지털 프로필
글로벌 컨설팅 기업 딜로이트
- 현실 세계에 존재하는 대상이나 시스템의 **디지털 버전**
- 물리적 사물을 컴퓨터 속에 가상으로 모델링해 관찰, **시뮬레이션 함으로써 사물의 특성을 더 정확하게 파악**할 수 있도록 하는 기술
- 현실 세계에서 수집되는 다양한 데이터를 기초로, 실제 세계의 기계나 장비, 사물 및 환경 등을 컴퓨터 속의 **가상 세계에 구현**한 것으로, **시뮬레이션 등을 통해 실제 세계를 미리 디지털 공간에서 구현하고 그 결과를 예측**하는 것을 의미 [1,2,3]

자료: Deloitte



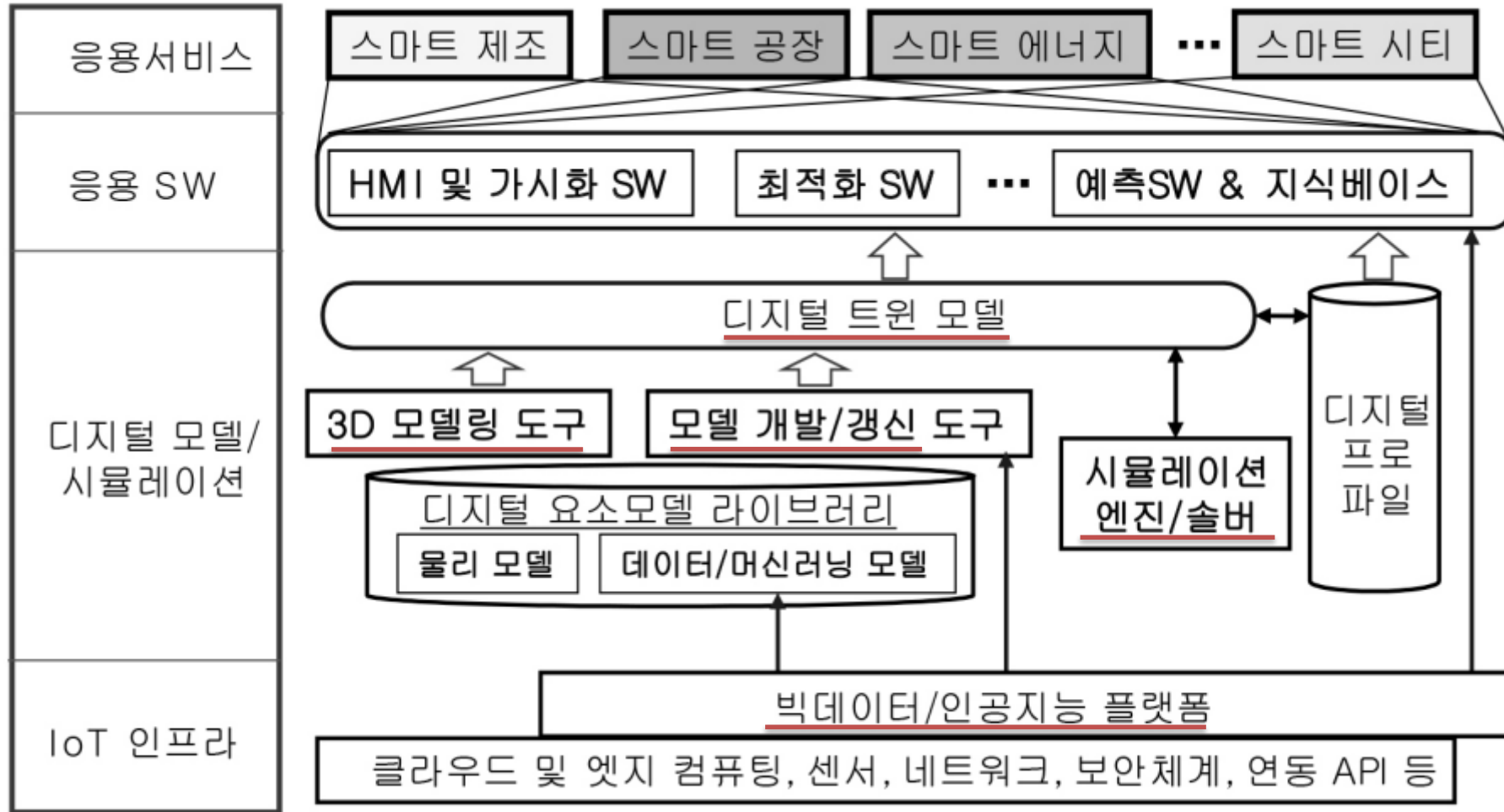
[1] 위키백과, 디지털트윈 [2] 정득명외, "디지털 트윈의 기술적 정의와 세부적 발전 5단계(level) 모델", ICT신기술, 정보통신기획평가원, 2020 [3] 김용운외, "디지털트윈의 꿈", 에트리보고서, 2021

디지털 트윈



자료: 디지털 트윈 기술 발전방향, PD ISSUE REPORT 2018.09 VOL 18-9

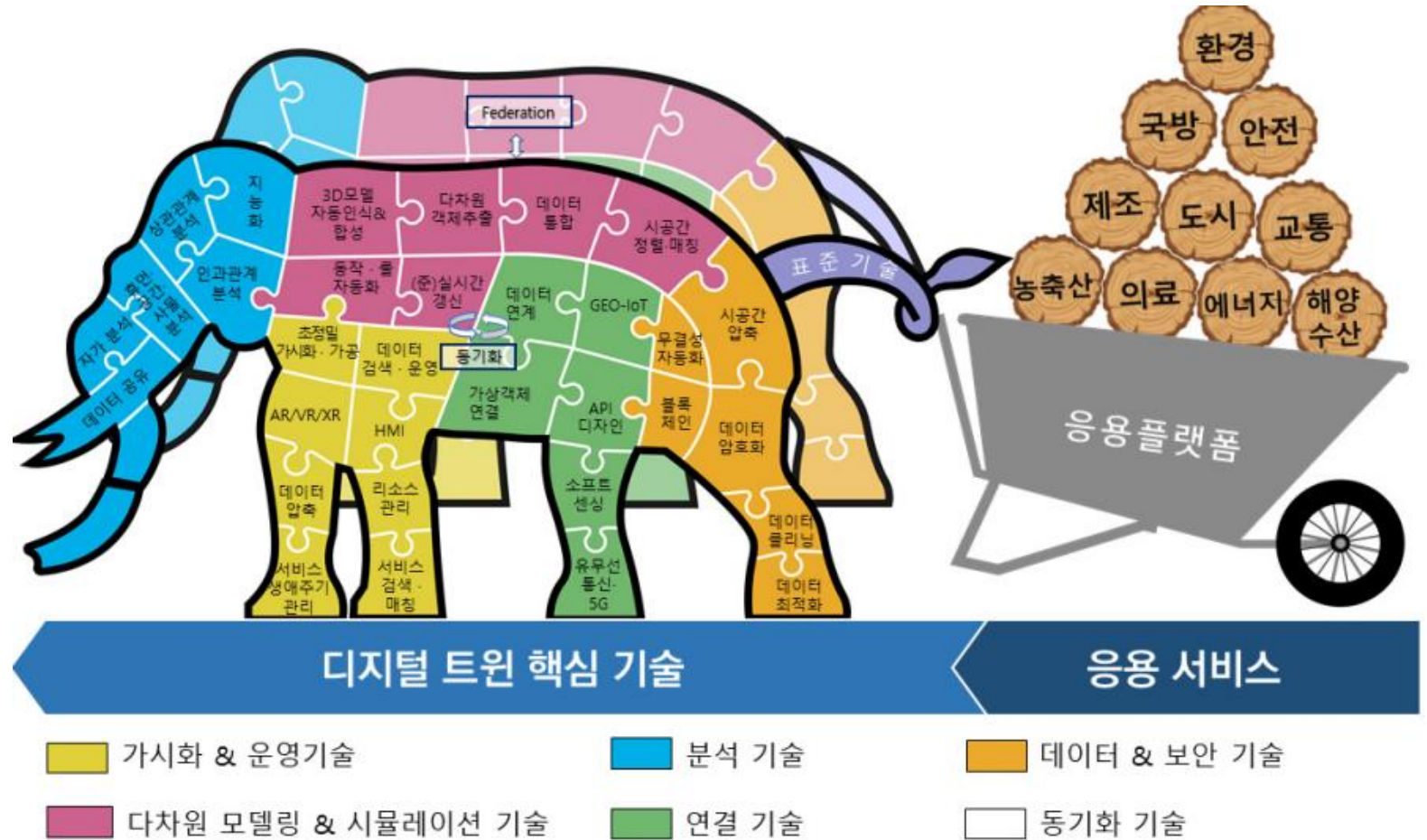
디지털 트윈 아키텍처 구성요소



디지털 트윈 아키텍처 구성요소 예시

이슈: 다양한 이종 기술 사용

IT, 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(인식, 학습), 시뮬레이션, 분석 및 가시화 등의 기술



디지털 트윈 구현기술분야	분야별 관련기술
Physical	센싱기술, 측정기술, 재료분석기술, 동적분석기술, 프로세스기술, 메카트로닉기술
Model	시뮬레이션 기술, 모델링기술, 시각화기술, 모델검증기술, 모델진화기술
Connections	인터페이스 기술, 인터넷기술, 통신기술, 상호호환성기술, 협업기술, 보안기술
Services	아키텍처기술, 알고리즘기술, 소프트웨어 기술, 플랫폼기술, 지능화 기술
Data	데이터수집기술, 데이터저장기술, 데이터연결기술, 데이터전송기술, 데이터프로세스기술, 데이터시각화기술, 데이터융합기술

자료: 지능정보기술동향

자료: 정보통신기획평가원 자체 작성

Simulation vs Digital Twins

■ Simulation

- ◆ Typically one particular process
- ◆ Don't need realtime data

■ Digital Twins

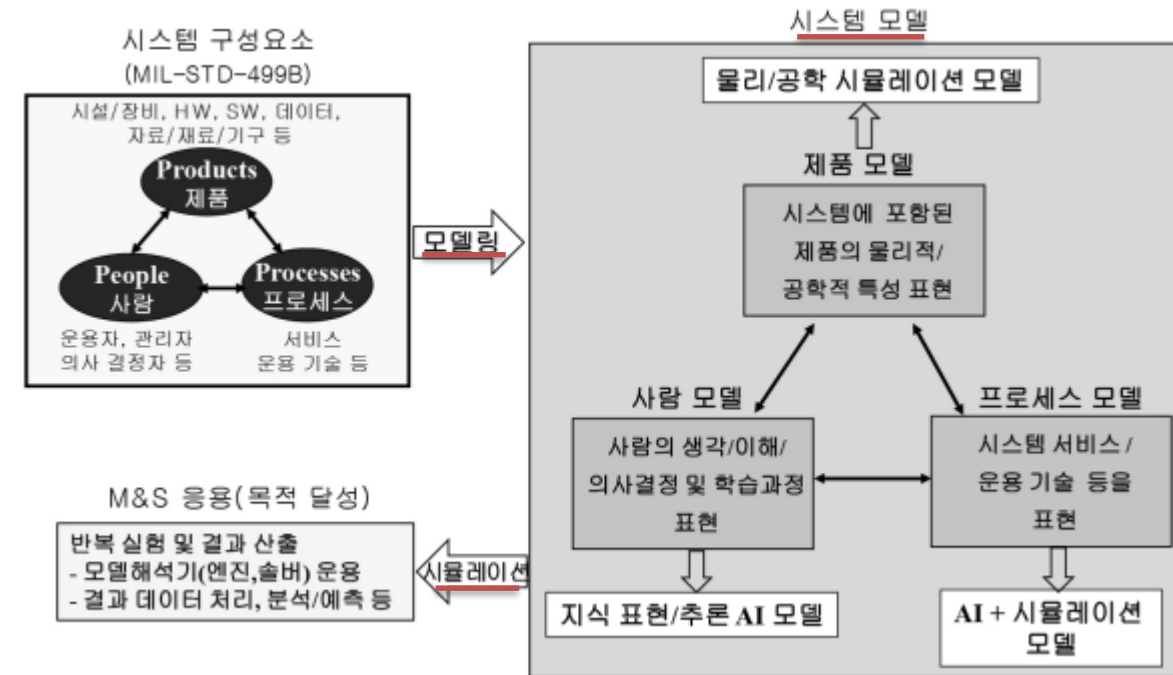
- ◆ Any number of useful simulations for multiple processes
- ◆ Two-way flow of information (sensing of real world <-> feedback of insights by processor)
- ◆ 현실세계의 변화와 사실적으로 연동

■ 물리적 요소들이 수명주기 동안 지속 변화 -> 쌍둥이 성을 유지

- ◆ 물리적 대상에서 생성되는 데이터를 지속적으로 반영, 갱신/변경 -> 진화하는 디지털 모델

이슈 : 시뮬레이션

- 반도체 생산라인, 항공기, 무기, 재난 등과 같은 **고가**의 장비 및 시스템을 개발시
 - ◆ 요구성능의 충족여부를 시험평가 할 때 **비용과다** 또는 **안전성** 등의 이유로 실행함
- '시뮬레이션' : 물리적 객체(시스템)를 소프트웨어로 추상화한 '모델' 생성 필요
 - ◆ Physics 기반의 **연속시간으로 묘사**하는 물리/공학급 모델과 운용 논리/절차 기반의 **이벤트 단위로 묘사**하는 이산사건 모델이 혼합된 **하이브리드 모델링 및 시뮬레이션 기술** 필요
- 시뮬레이션의 결과에 대한 **신뢰성을 보장** 필요

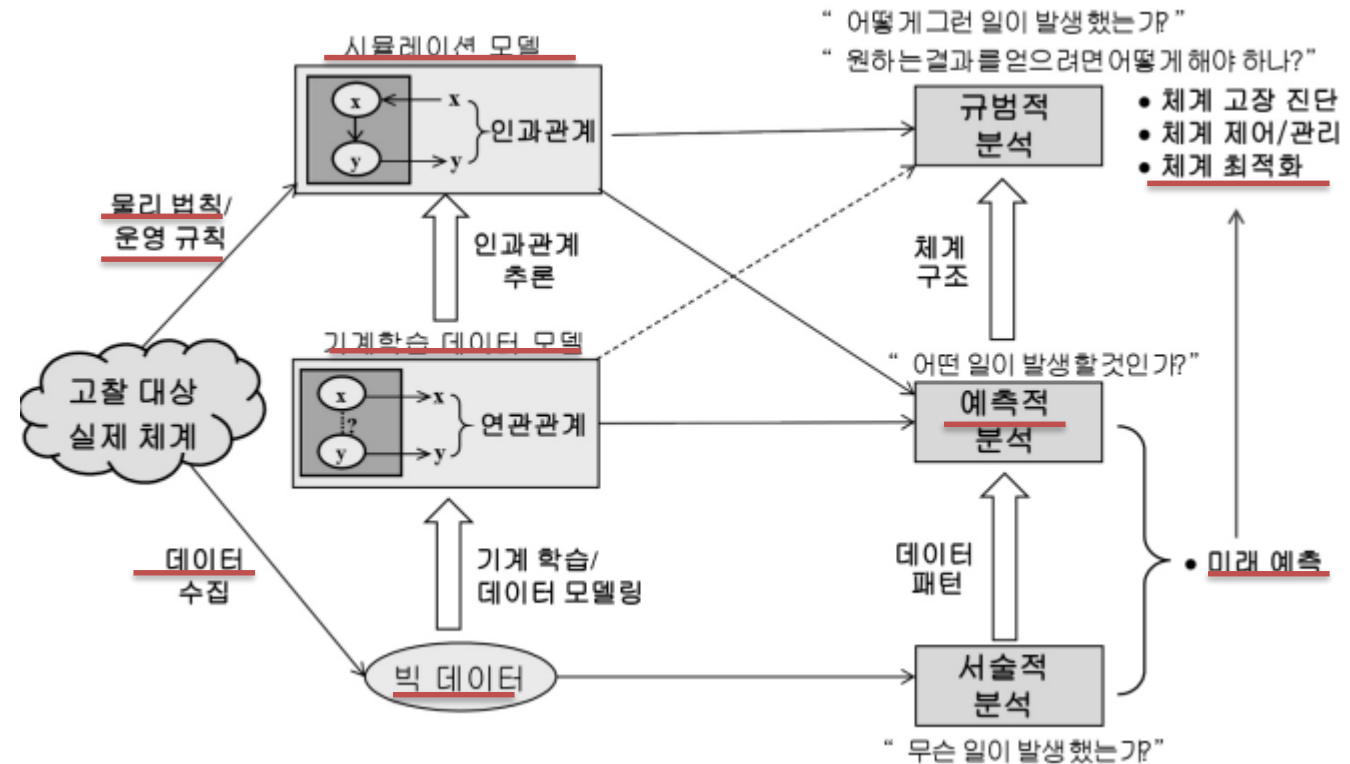


출처: 도서 - 국방 모델링 시뮬레이션(2018)

이슈: 디지털 모델링?

■ 디지털 모델을 어떻게 만들지 등에 대한 기술적 논의는 부족

- ◆ 객체를 상태 정보와 물리(physics)를 나타내는 수학방정식 및/또는 논리적 알고리즘 형태의 상태천이함수로 표현하는 White box 접근
- ◆ 데이터 + 인공지능(머신러닝) 기반



분석방법의 산출가능 분석

출처: 도서 – 국방 모델링 시뮬레이션(2018)

이슈: 3D Modelling



■ 3D Modelling

- ◆ 물리적 대상의 아이디어 구상 단계, 설계, 제조/생산, 운영 및 유지보수 등 전체의 수명주기를 지원
- ◆ 제품설계서에 해당하는 3D (시각화)모델 생성 기능이 강조

■ Human 3D Model

- ◆ 인체의 몸은 DNA -> RNA -> 단백질 -> 세포 -> 장기 -> 인체 -> 사회 등으로 이루어져 있음
- ◆ **의료영상은 단지 meso-scale의 장기를 촬영**

< 범용 3D 객체 데이터 예시(교통시설 분야) >

- (정류장) 버스 정류장, 택시 정류장, 공공자전거 대여소 등
- (안전시설물) 중앙분리대, 보도펜스, 가로등, 육교 등
- (신호기) 양주식, 측주식, 현수식, 삼색등, 사색등, 버스삼색등 등

=> 위치, 크기, 기능 : 중요하지만 단순함

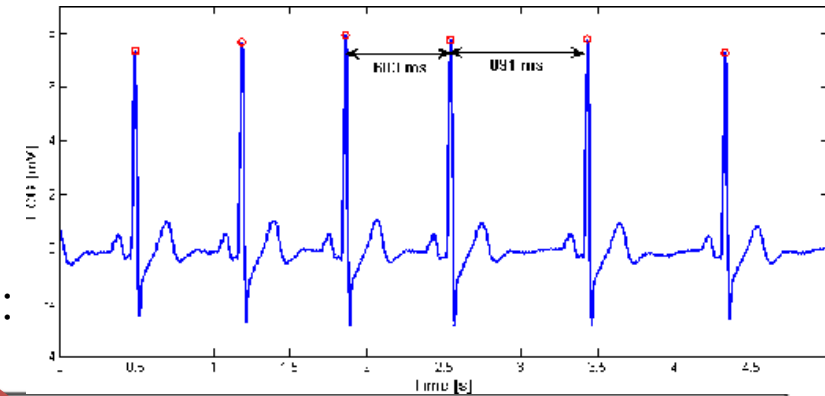
< 디지털 뉴딜 內 공간정보 관련 사업 (국토부)>

- (전국 3D지도) 주요 지역 고정밀 3D 지형지도, 고해상도(12cm) 영상지도 구축
- (정밀도로지도) 전국 고속도로·일반국도 및 지방도에 정밀도로지도 구축·갱신
- (지하공간 통합지도) 지하시설물·구조물·지반 등의 3D 지하공간지도 구축

=> 위치, 크기, 기능 : 중요하지만 단순함

ECG : irregularly irregular

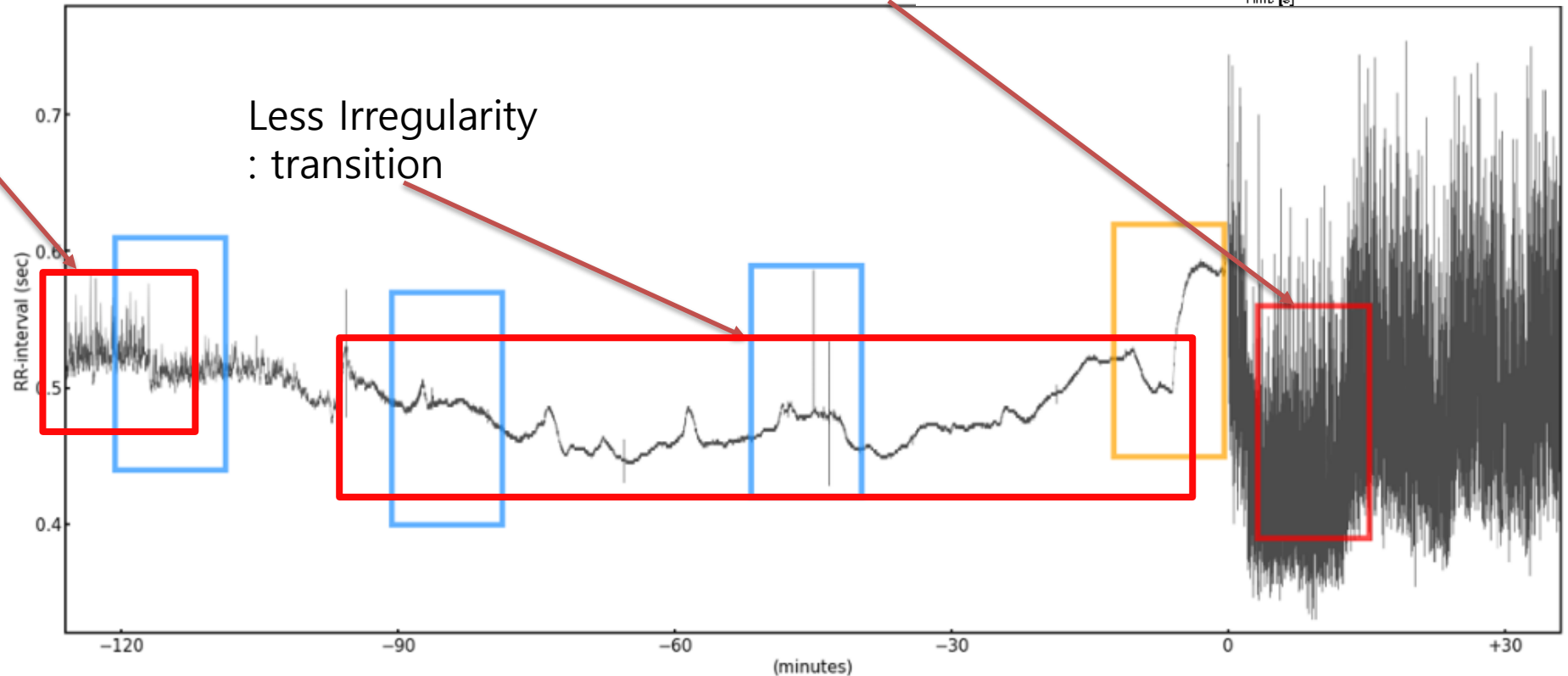
- Irregularity of R-R interval of ECG : Normal
- Arterial fibrillation : Irregularly irregular



Irregularly irregular:
Arterial fibrillation

Irregularity
: normal

Less Irregularity
: transition

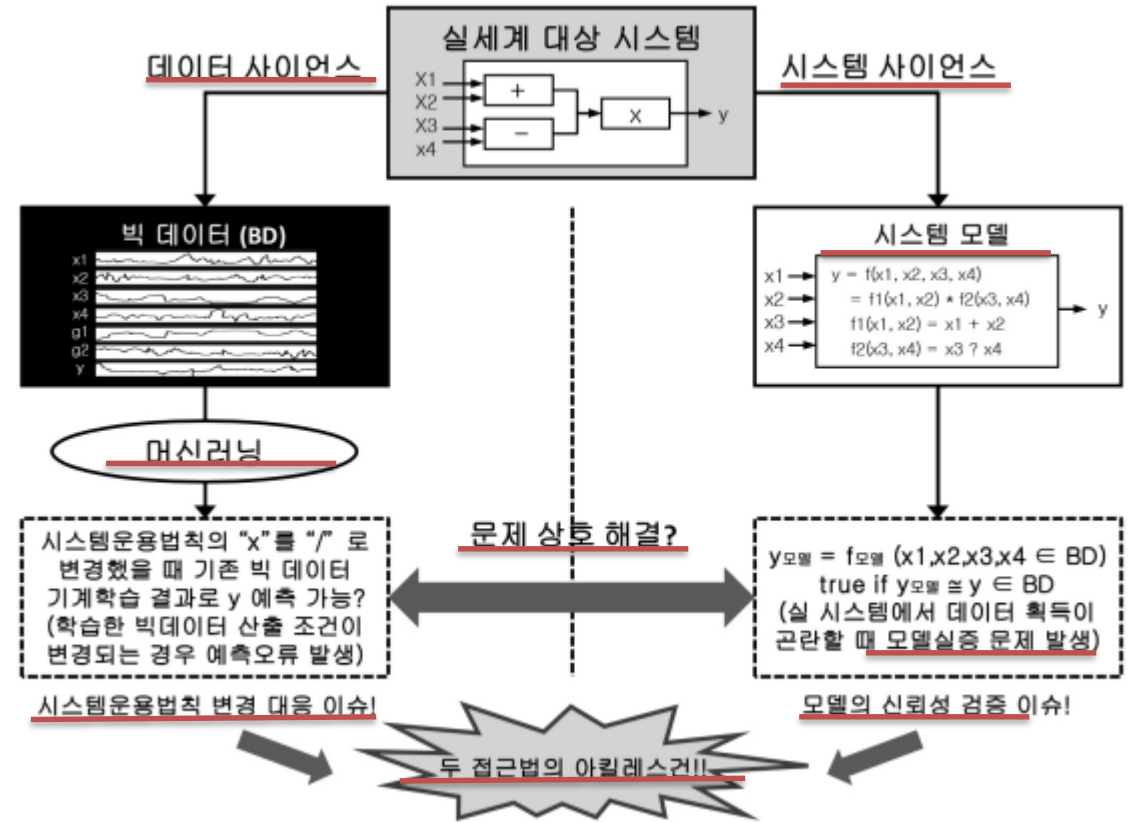


이슈: 인공지능 모델의 미래예측

■ 인공지능(머신러닝) 기반 모델

- ◆ 대상 시스템에서 관찰된 (빅)데이터 내의 특정 패턴 또는 데이터요소들 간의 상관관계 분석을 통해 진단 및 예측 분석

구분	데이터 모델	시뮬레이션 모델
모델 표현력	변수들 간의 상관관계	변수들 간의 인과관계
대상 시스템 지식	시스템 지식 불필요	시스템 지식 필요
모델 다이내믹스	입력 → 출력 정적 매핑 $x \rightarrow \boxed{y = f(x)} \rightarrow y$ No state within model	(입력, 상태) → 출력 동적 매핑 $x \rightarrow \boxed{\begin{matrix} Q \\ q' = f(q, x) \\ y = g(q, x) \end{matrix}} \rightarrow y$ State Q within model
모델링 수단	데이터 마이닝, 기계학습	물리 이론 및/또는 운영규칙
분석 수준	서술 → 예측 (제어정책 결정 無)	예측 → 규범적 (제어정책) → 인지적 (계획수립)
예측의 타당성 확보 조건	학습전후 시스템 구조 불변	모델 VV&A
모델 실행 소요시간	매우빠름 ~ 실시간	비교적 긴시간 ~ 거의 실시간
특별한 상황, 또는 존재하지 않는 시스템	적용 불가	적용 가능



데이터 모델링 및 시뮬레이션 모델링의 제한사항
 자료: 디지털 트윈 기술 발전방향, PD ISSUE REPORT
 2018.09 VOL 18-9

K-디지털 트윈: 정보통신전략위

- '디지털 트윈' 산업·시장 활성화 및 기술 선도 위한 체계적 전략 마련
- 3개 핵심부문 총2,308억원 투자
- TaaS(digital Twin As A Service) '민간 주도형 디지털 트윈 생태계' 조성



자료: 과기부

디지털 트윈: 맞춤형 정밀의료 지원

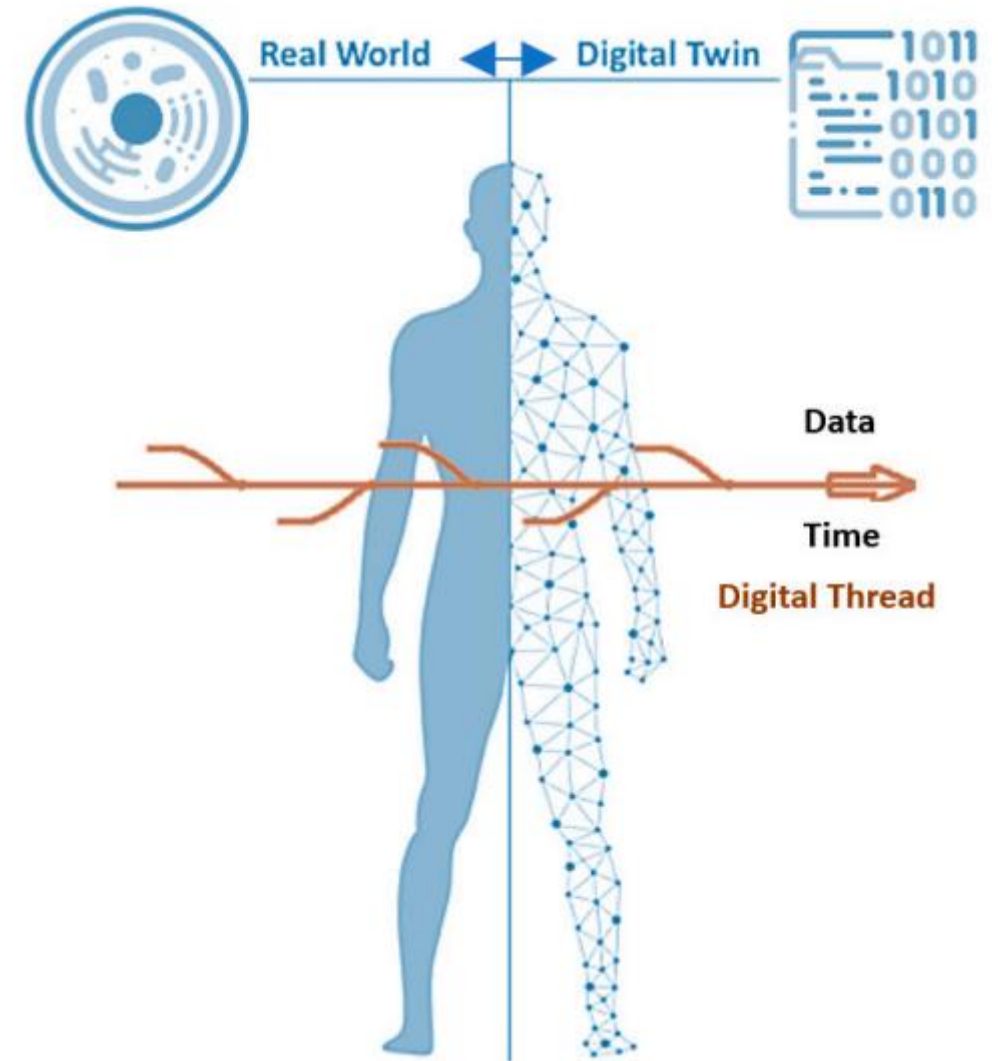
■ 트윈 기반 재활, 임상시험 및 환자 맞춤형 의료 지원

- ◆ (재활훈련) 뇌손상 등 신경근골격계 질환자에 운동가이드를 제공하여 재활을 돕는 고정밀 트윈 생성 및 시뮬레이션 개발('21~)
- ◆ (디지털 치료제) 개인별 신체 반응의 차이를 디지털 트윈으로 구현할 수 있는 디지털 치료제용 실감 상호작용 핵심기술 개발('22~)
 - ※ XR 트윈 생성, 시뮬레이션 및 가시화, 상호작용 등 3대 XR 트윈핵심기술 개발
- ◆ (임상 시뮬레이션) 임상·의료 및 치료(약물,수술) 효과 정보 기반 생체·임상·건강 상태의 복제 아바타 구현 기술 및 디지털 실험·대조군을 활용한 가상 임상시험 시뮬레이션 체계 개발('22~, 복지부)

자료: 과기부

Medical Twin

- 인간의 신체 혹은 **환자**의 디지털트윈
 - ◆ 웨어러블 기기 등에서 수집되는 다양한 신체 모델링 및 진료 데이터를 기반 시뮬레이션을 통해 **임상 의사 결정 지원 (CDSS)**
- **의료기기**의 디지털트윈
 - ◆ 의료기기에 장착된 다양한 센서에서 수집되는 데이터를 기반으로 **시뮬레이션을 통해 의료기기의 최상의 성능 관리**
- **병원 등 의료기관이나 의료 조직**에 대한 디지털트윈
 - ◆ 운영이나 진료 과정을 다양한 의료 및 경영 데이터를 기반으로 시뮬레이션하여 **집중진료실의 효율적 운영이나 환자 대기 시간의 단축, 병실 디자인의 재검토** 등을 가능하게 하는 것을 의미



J. Pers. Med. 2021, 11, 745

21 ways medical digital twins will transform healthcare

■ Personalized medicine

1. Virtual organs

Philip HeartModel, Feops, Dassault Living Heart Project

2. Genomic medicine

3. Personalized health information

Babylon Health

4. Customize drug treatment

5. Scanning the whole body

Q Bio, Gemini Digital Twin

6. Planning surgery

Sim&Size

■ Improving healthcare organizations

7. Improving caregiver experience

8. Driving efficiency

GE Command Center

9. Shrinking critical treatment window

10. Value-based healthcare

11. Supply chain resilience

12. Faster hospital construction

13. Streamlining call center interactions

■ Drug and medical device development

14. Software-as-a-medical device

15. Classifying drug risks

16. Simulating new production lines

Siemens

17. Improve device uptime

Philips

18. Post-market surveillance

19. Simulating human variability

Virtonomy

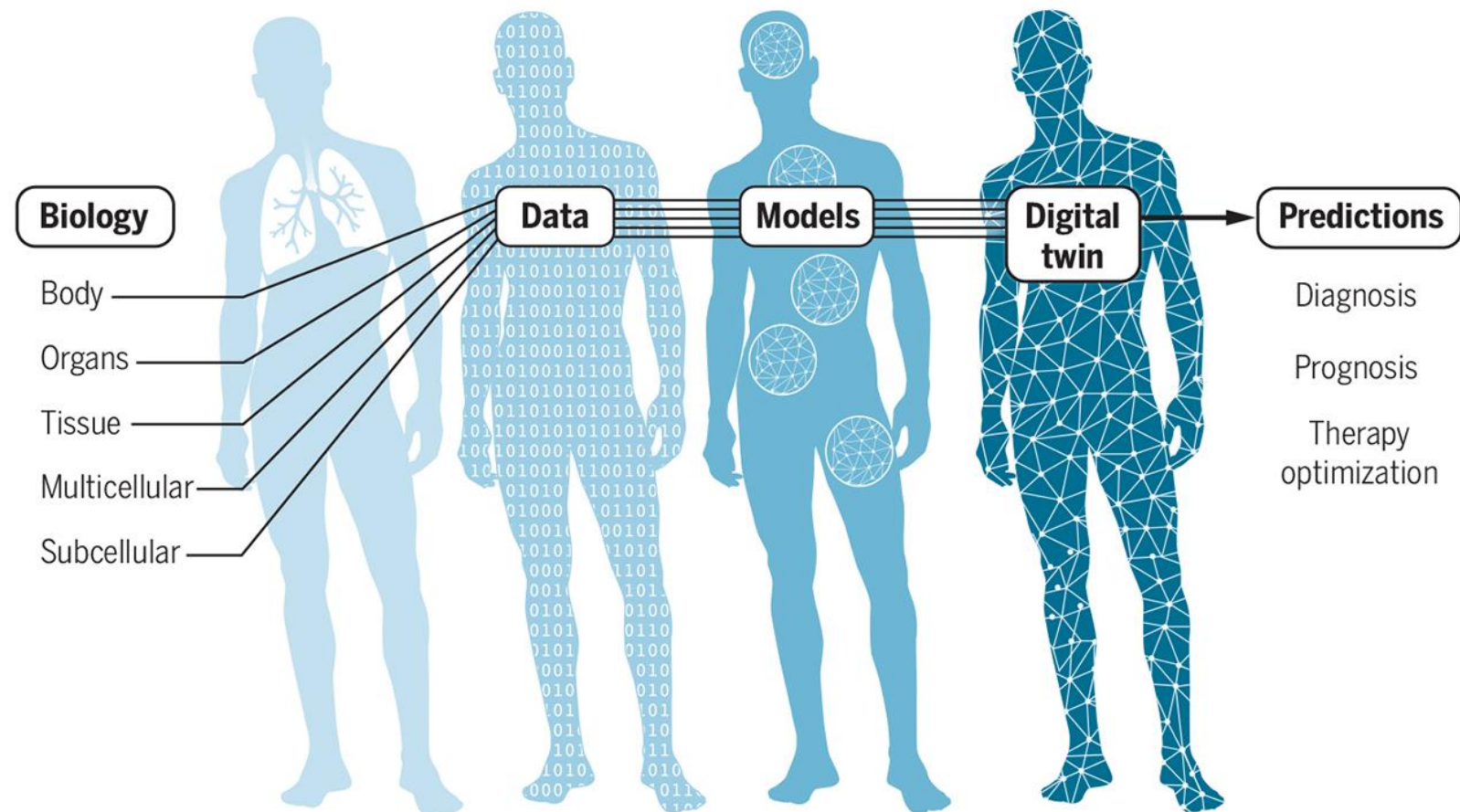
20. Digital twin of a lab

Artificial

21. Improving drug delivery

Building a personalized digital twin

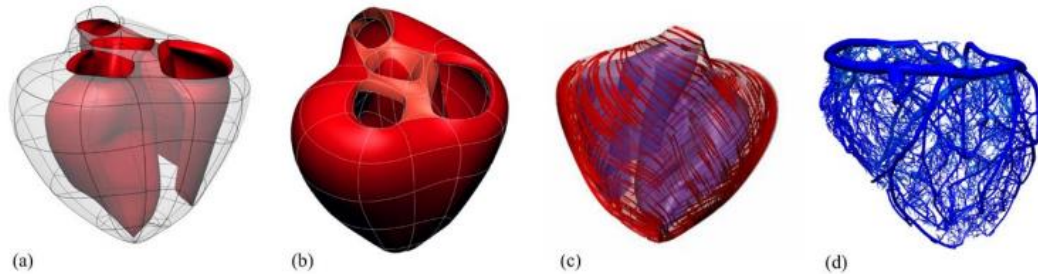
Data from multiple scales are needed to build computational representations of biological processes and body systems that are affected by viral infection. These submodels are integrated and personalized with clinical data from individual patients. The digital twin can then be used to derive predictions about diagnosis, prognosis, and efficacy and optimization of therapeutic interventions.



Physiome

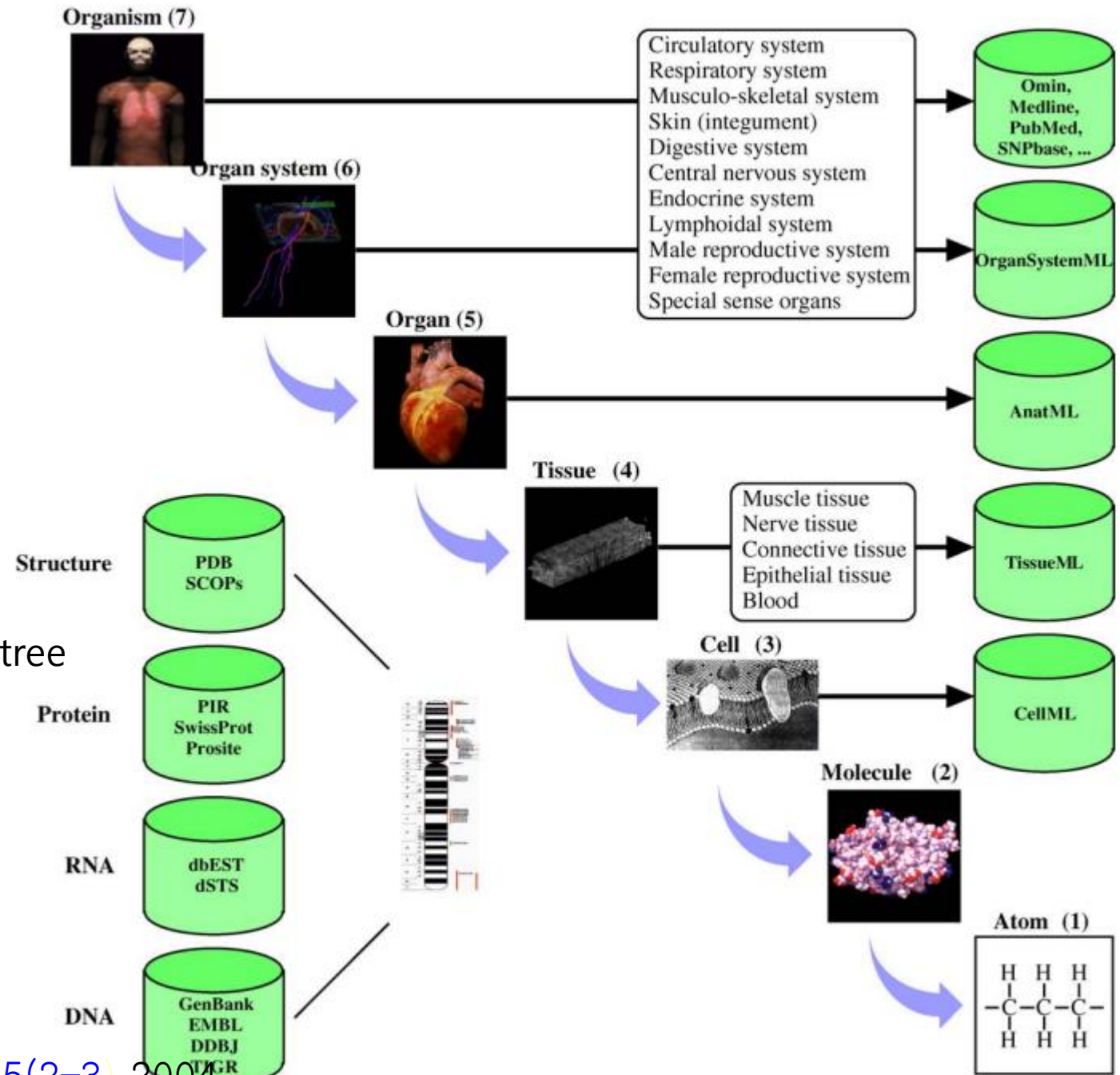
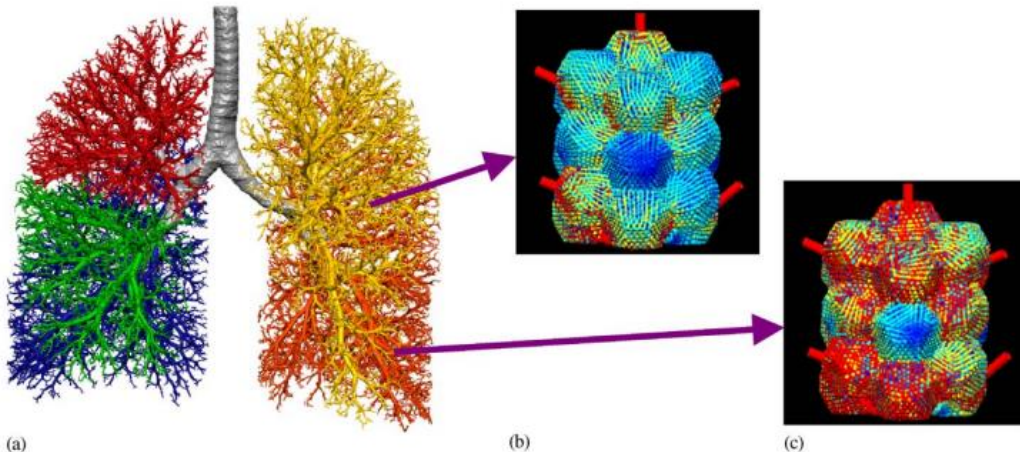
■ Since 1993

◆ <http://physiomeproject.org/about/a-brief-history>



c. Fibre orientation

d. coronary arterial tree



다쏘(Dassault)의 Living He

THE LIVING HEART PROJECT

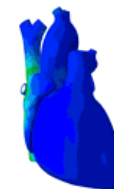
A TRANSLATIONAL RESEARCH INITIATIVE TO REVOLUTIONIZE CARDIOVASCULAR SCIENCE THROUGH REALISTIC SIMULATION

■ 인공 심장 개발을 위한 디지털 트윈 프로젝트

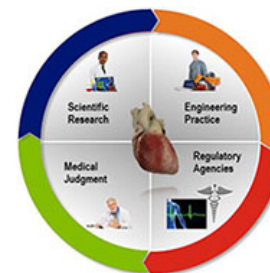
- ◆ 2014년에 시작
- ◆ Multi-physics 기반 심장 시뮬레이션
- ◆ 오픈소스 협력: 연구원, 의사, 의료 장비 개발사, 제약 회사

What if physicians and surgeons could virtually analyze their patients' health and plan therapies and surgeries using the same advanced simulation technology that the automotive, aerospace, energy and hi-tech industries rely on to test their product before they are built? What if medical devices could be designed and safely tested in the virtual world before ever being tested in the real world?

IF WE apply the power of realistic simulation to human modeling, we can revolutionize medical care.



The Living Heart Project



The Living Heart Project is uniting leading cardiovascular researchers, educators, medical device developers, regulatory agencies, and practicing cardiologists on a shared mission to develop and validate highly accurate personalized digital human heart models. These models will establish a unified foundation for cardiovascular *in silico* medicine and serve as a common technology base for education and training, medical device design, testing, clinical diagnosis and [regulatory science](#) — creating an effective path for rapidly translating current and future cutting edge innovations directly into improved patient care.

The Living Heart Project is driven by a growing ecosystem that is fueling the collaborative development of validated, commercially available heart models and exploring novel digital



3DEXPERIENCE

필립스의 가상 신체 구현

- 디지털 트윈을 활용해 환자의 정보를 이용한 '디지털 환자(digital patient)'라는 가상 신체를 구현
 - ◆ 가상 신체를 구현한 환자는 질병이 발생했을 때, **클라우드 데이터를 활용**해 치료를 진행
 - ◆ 의사는 자신의 환자와 **가장 유사한 '디지털 환자'** 정보를 통해 어떤 치료가 효과적이고, 또 어떤 치료를 피해야 하는지 쉽게 파악(CBIR)
 - ◆ '디지털 환자'의 경우 **기존 대비 신규 상태를 비교**함으로써 증상의 작은 부분까지 확인이 가능하기 때문에 정확한 진단을 가능
 - ◆ 가상 신체를 통해 육안으로 파악하기 어려운 **콩팥 기능 문제, 심장의 크기, 불규칙적인 심박수** 등을 종합적으로 파악해 심부전증의 진단을 빠르게 내리고 치료를 진행

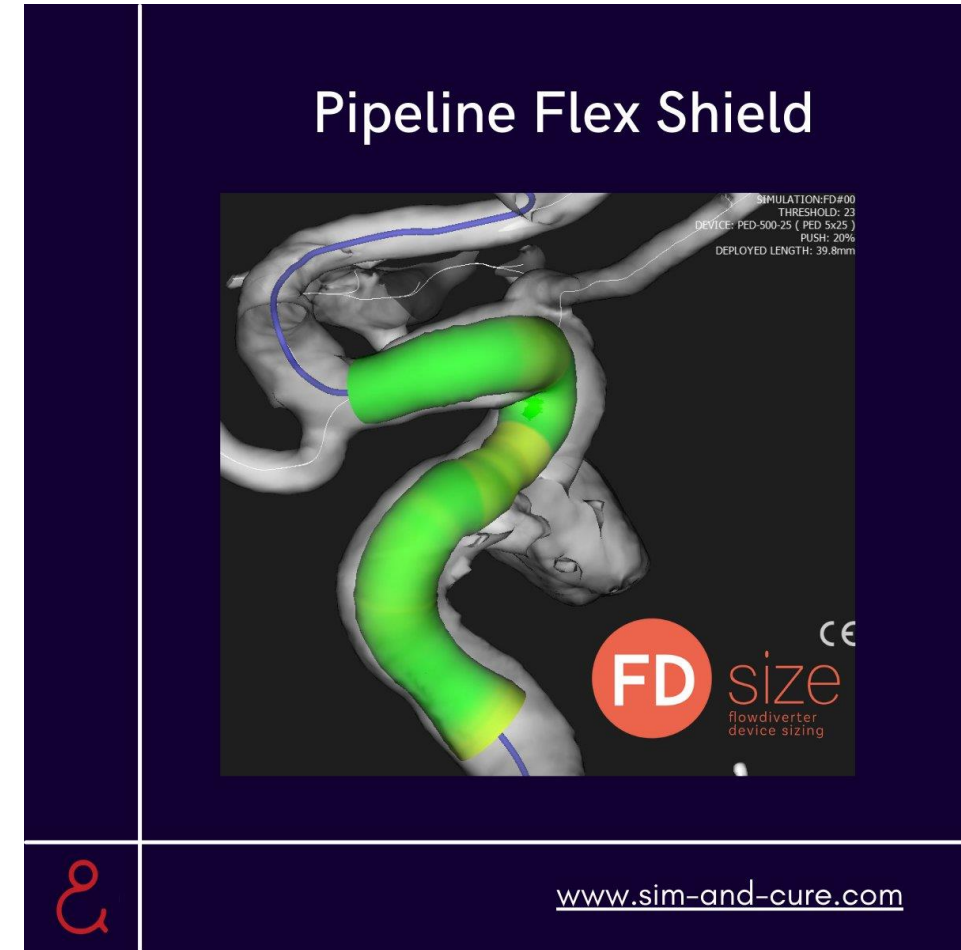


자료: Philips Youtube

Sim&Cure 수술 시뮬레이션

■ 뇌동맥류(Aneurysms) 수술에 사용하는 상품

- ◆ 뇌동맥류 수술은 동맥류가 발생한 위치를 찾기 어려워 상당히 까다롭고, 위치를 발견했다 하더라도 적절한 크기의 이식물을 사용하는 것이 중요
- ◆ 환자의 뇌동맥류 발생 상태와 주위 혈관을 3D 모델링-> 의사가 환자의 상태를 더 잘 파악
- ◆ 3D 모델링을 기반으로 다양한 시뮬레이션을 시스템 스스로 진행해 수술에 적합한 수술 도구와 이식물(Implant) 사이즈 정보를 제공
- ◆ 수술 시간을 크게 단축시키고 정확한 수술을 가능하게 함으로써, 수술 성공 확률을 높임.



자료: Sim&Cure

GE의 임상 커맨드 센터(Clinical Command Centers)

■ 병원의 효율성과 의료 서비스의 질 향상

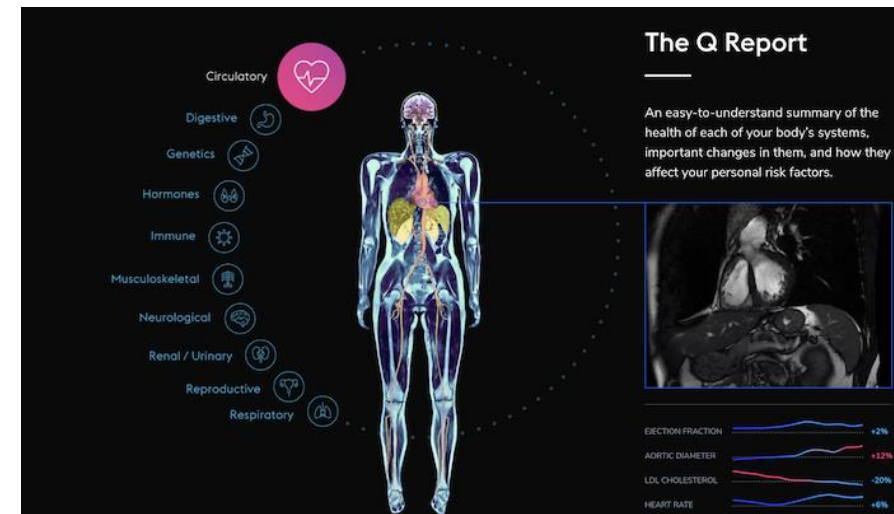
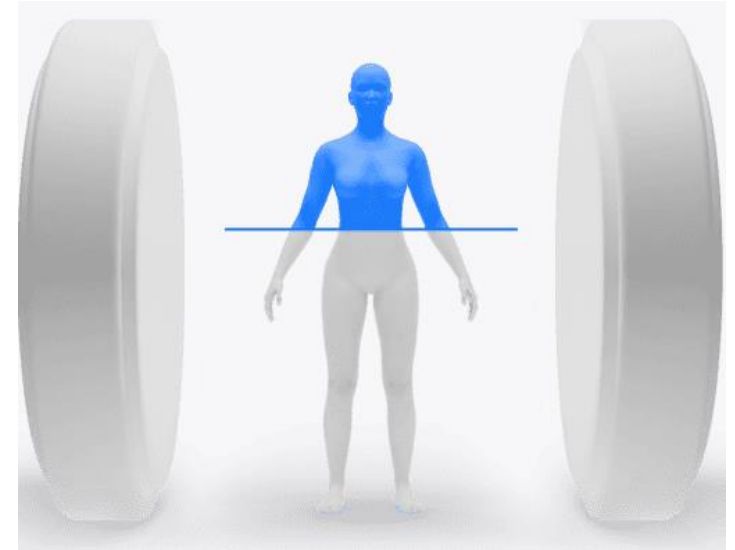
- ◆ 현실과 같은 가상의 병원을 만들고 운영을 예측하는 시스템
- ◆ 디지털 트윈 시뮬레이션을 토대로 환자 대기시간을 줄이고 장비를 효율적으로 운영해 원내 발생할 수 있는 문제들을 사전에 방지하거나 실시간으로 해결
 - 실시간 병원 운영 의사 결정 지원 솔루션
 - 환자들의 동선을 디지털 환경에서 구현한 '디지털 트윈'을 활용 -> 프로세스 개선
- ◆ 처방 분석, 머신러닝, 자연어처리(NLP) 등 컴퓨터가 인간 눈과 같이 사물을 보고 식별하는 기능 등을 활용하며 의료기관의 지휘



자료: GE healthcare

큐바이오(Q Bio) Gemini

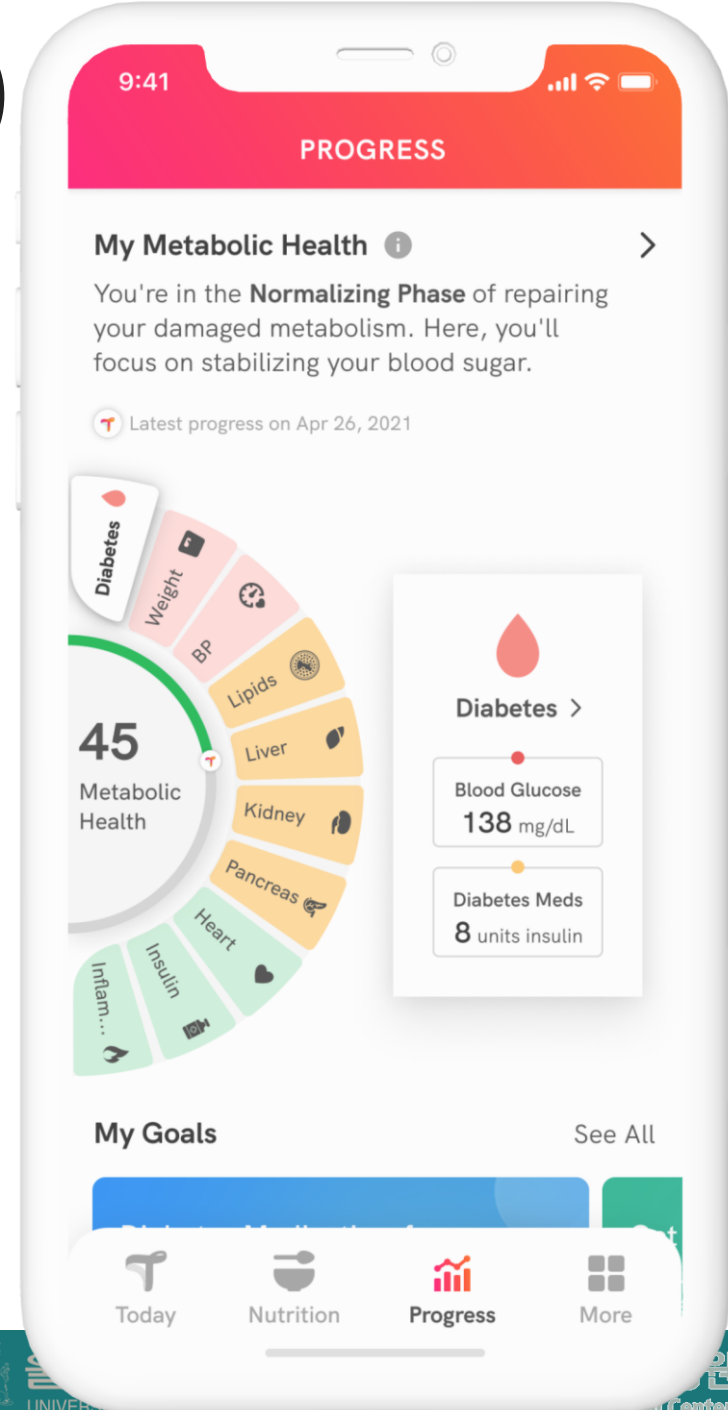
- 2015년 창업한 미국의 스타트업
- '큐바이오 마크아이 셀프드라이빙(Q Bio Mark I Self-driving)'이라는 바디 스캐너 (Whole body MRI scanner)
 - ◆ 디지털 트윈 플랫폼을 구축
- 사용자의 현재 건강 정보를 수집한 뒤, 생활패턴이나 병력 및 유전적 위험요인에 따라 가중치를 부여해 향후 건강 위험을 예측
- 개인의 해부학적, 생화학적 변화에 따라 실시간으로 변동
- "디지털 트윈 플랫폼 '큐바이오 제미니(Q Bio Gemini)'
 - ◆ 개인의 생리적 상태 정보가 디지털 트윈 형태로 자동 반영되며, 생리학적 측면에서 개인의 중요한 변화를 체크해 의료진 및 전문가와 안전하게 공유할 수 있도록 지원



자료: Q Bio

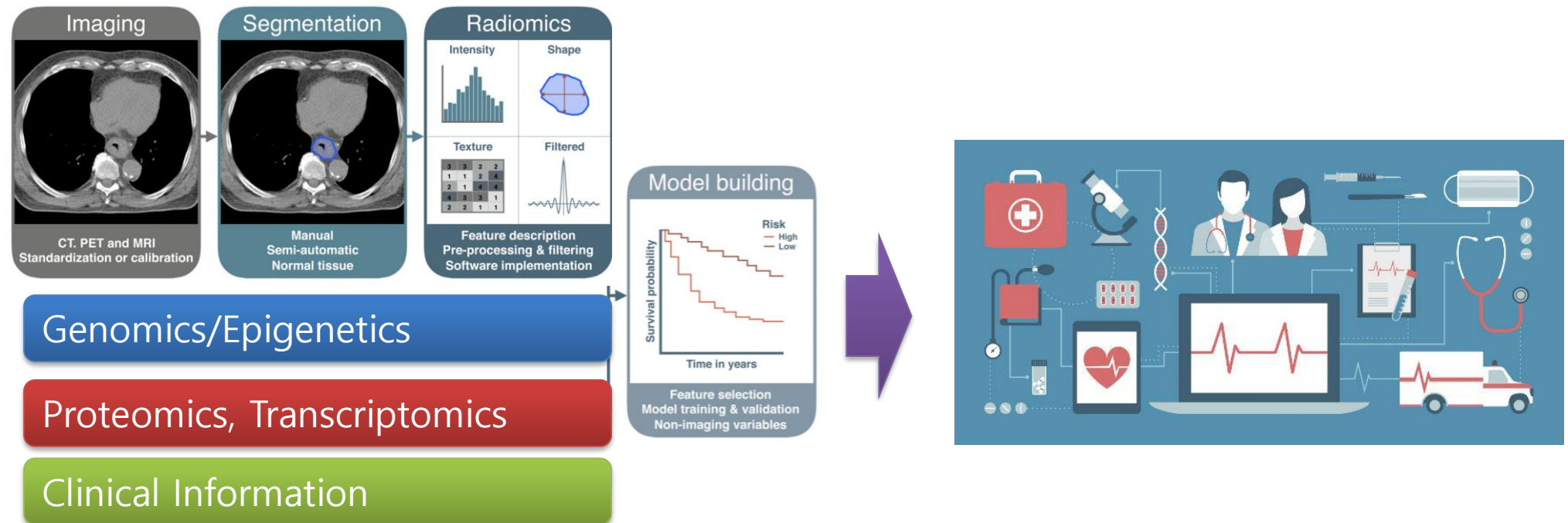
트윈헬스(TwinHealth)

- 인공 신경망의 한 종류인 '순환 신경망(Recurrent neural network, RNN)'과 결합된 디지털 트윈 시뮬레이션
 - ◆ 당뇨병 환자들의 치료를 돕고 영양학적 조언을 제공하는 서비스
 - ◆ 앱과 웨어러블 센서를 통해 하루 약 3000건의 데이터를 트윈헬스로 전송하여, 환자의 디지털 트윈을 구축
 - ◆ 당뇨병 환자의 혈당 평균 절대 오차를 목적 함수로 사용해 RNN 학습
 - 영양소 변경 또는 수면 요법 변경 등과 같은 상황을 시뮬레이션
 - 요인이 혈당에 어떠한 영향을 미치는지 확인
 - ◆ 초기 임상 결과에서 당뇨병 환자 90%의 병세가 호전됐고, 9할의 사람들이 당뇨병 약 복용을 중단¹
 - ◆ 해당 요법을 사용한 사람들은 평균적으로 체중이 9kg 감소했고 그중 일부는 간 기능이 개선

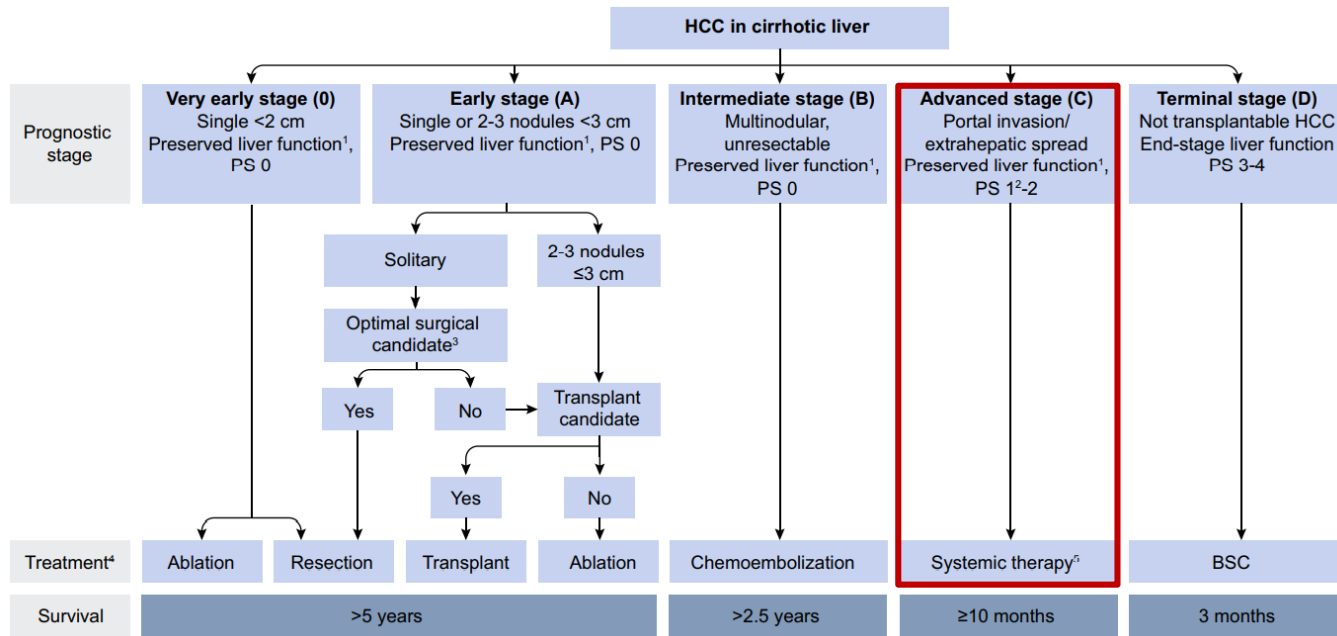


CDSS

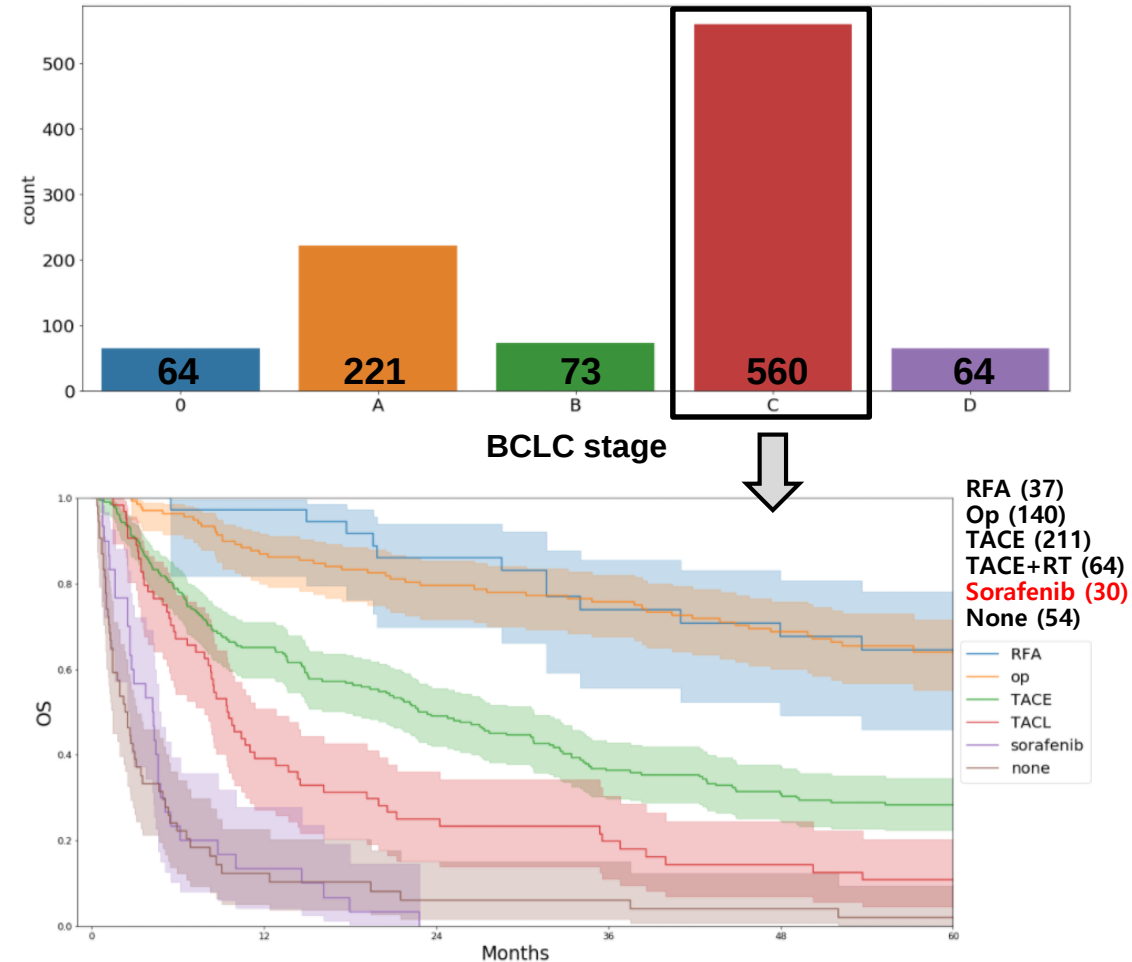
- A clinical decision support system (CDSS) is intended to improve healthcare delivery by enhancing medical decisions with targeted clinical knowledge, patient information, and other health information.



Hepatocellular carcinoma



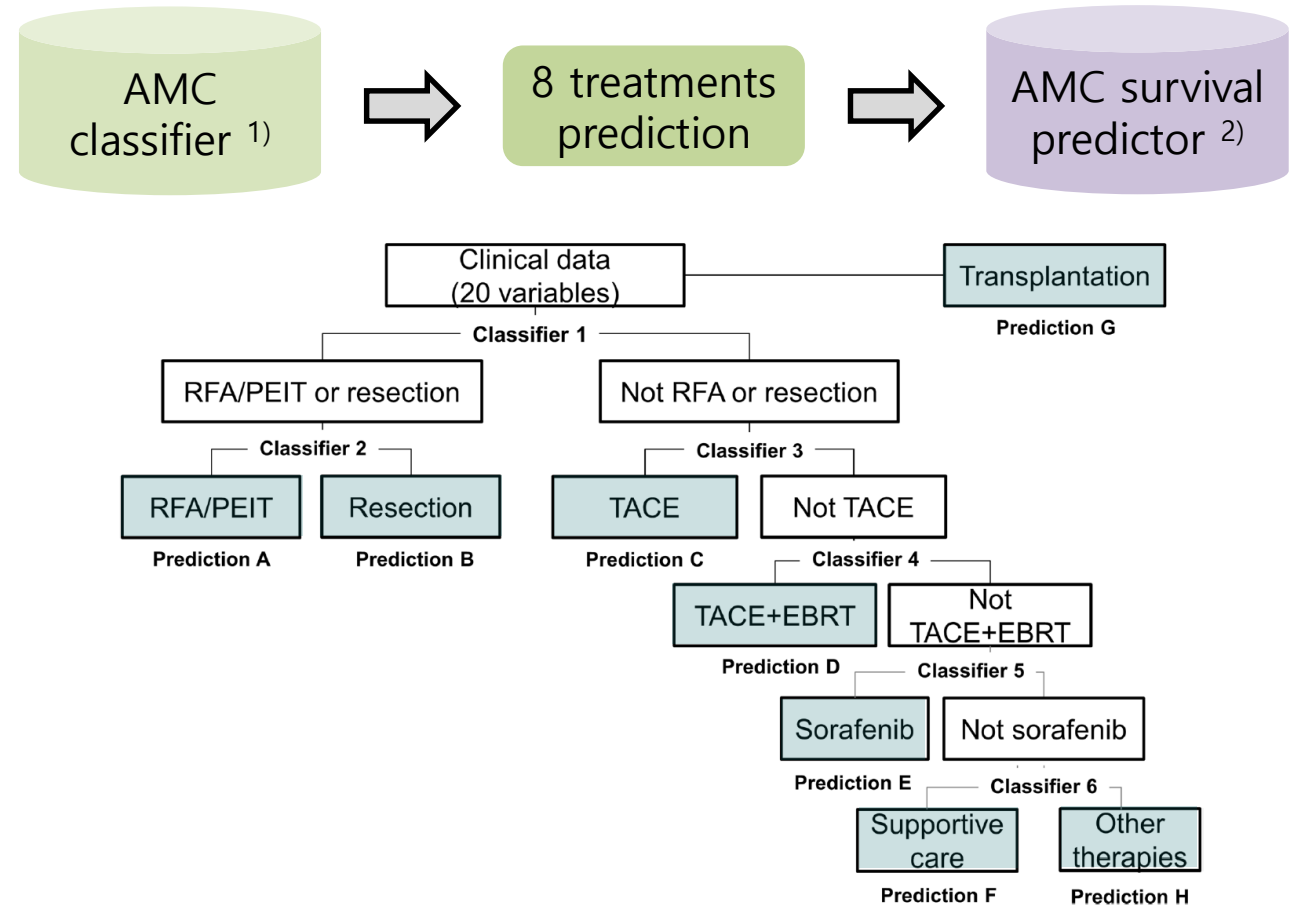
AMC Dataset (n = 982, 2010.1~10)



Hepatocellular carcinoma

N=778, HCC patients with **20 key variables**

Patient-related factors (14)	
Age	Value
Body mass index, kg/m ²	Value
ECOG performance status score	0, 1, 2, 3, 4
Child-Pugh score	5-14
Varix	Absence / presence
Ascites	Absence / controlled uncontrolled
AFP, ng/mL	Value
Haemoglobin, g/dL	Value
Platelet count, × 10 ⁹ /mm ³	Value
ALT, U/L	Value
Total bilirubin, mg/dL	Value
Albumin, mg/dL	Value
Prothrombin time, INR	Value
Creatinine, mg/dL	Value
Tumour-related factors (6)	
Tumour number	1, 2, 3, 4 or more
Maximum tumour size, cm	Value
Distribution	Single segmental / unilobar / bilobar
Portal vein invasion	Absence / unilateral / main portal or both portal vein
Metastasis	Absence / presence
RFA feasibility*	Feasible / non-feasible



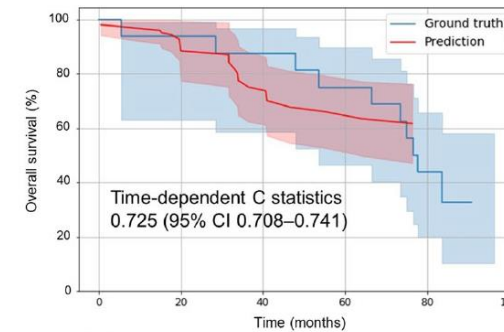
Hepatocellular carcinoma

Accuracies of each classifier

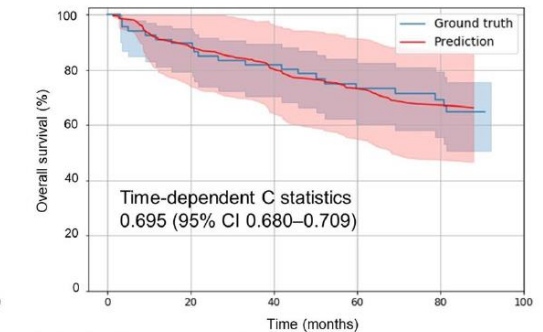
	Accuracy (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)
Classifier 1 (RFA/PEIT or resection vs. not RFA/PEIT or resection)	81.0 ± 2.6	77.4 ± 4.1	83.7 ± 3.3	77.8 ± 3.6	83.5 ± 2.5
Classifier 2 (RFA/PEIT vs. resection)	88.4 ± 3.1	56.2 ± 11.6	95.8 ± 2.7	76.8 ± 12.1	90.6 ± 2.3
Classifier 3 (TACE vs. not TACE)	76.8 ± 2.9	82.3 ± 4.1	69.3 ± 5.5	78.3 ± 4.0	74.6 ± 4.9
Classifier 4 (TACE + EBRT vs. not TACE + EBRT)	76.6 ± 4.7	43.9 ± 12.6	89.4 ± 3.9	61.6 ± 10.8	80.4 ± 4.3
Classifier 5 (Sorafenib vs. Not sorafenib)	80.0 ± 4.2	12.3 ± 13.3	95.0 ± 4.0	44.0 ± 37.7	83.1 ± 3.0
Classifier 6 (Supportive care vs. Other therapies)	80.1 ± 6.3	53.0 ± 17.6	90.4 ± 5.2	67.7 ± 15.8	83.7 ± 5.6

Accuracies of survival prediction

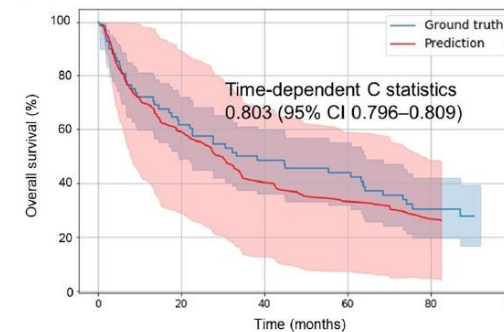
(A) RFA/PEIT



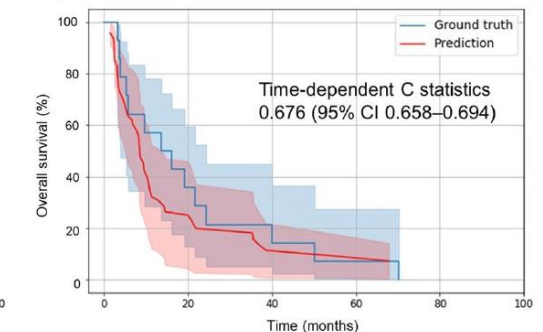
(B) Resection



(C) TACE

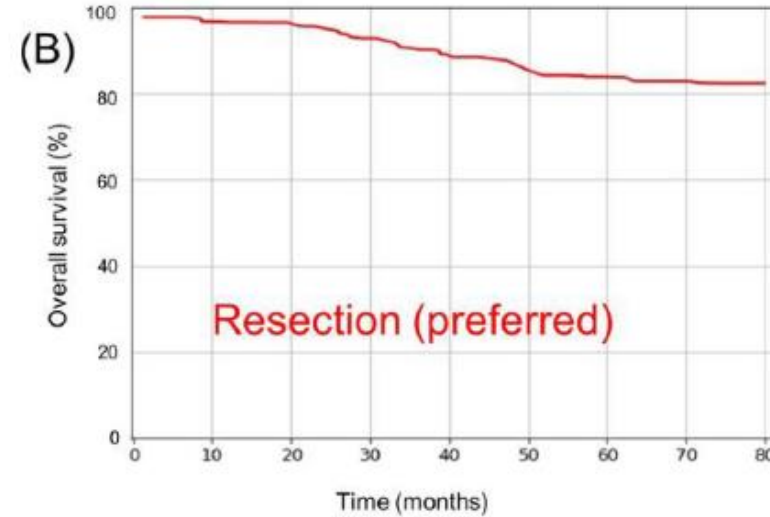


(D) TACE+EBRT

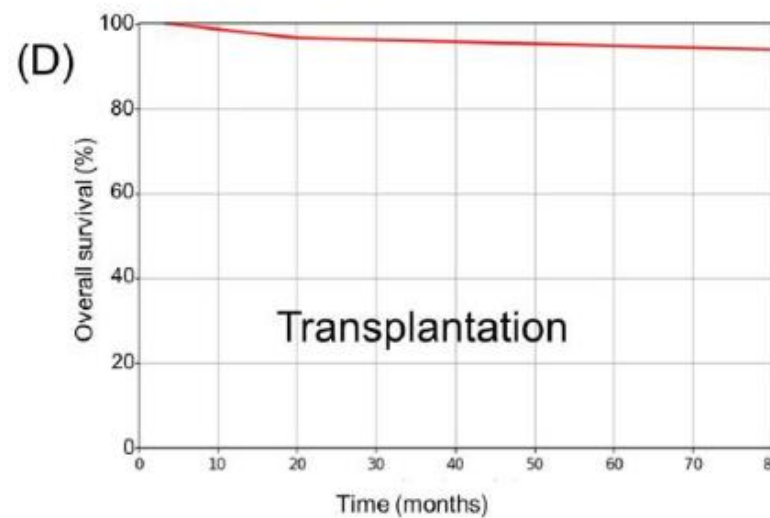
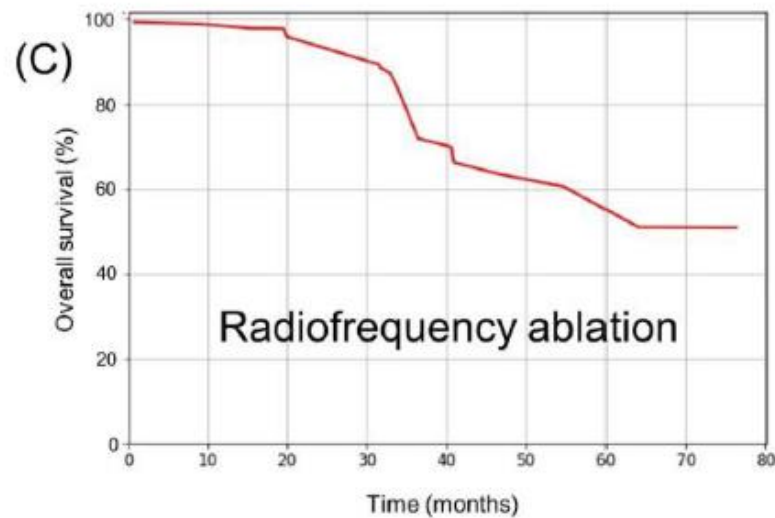


Hepatocellular carcinoma

Scenario



Recommending **initial treatment option** & Predicting OS



Recommending **alternative treatment option** & Predicting OS

Hepatocellular carcinoma : Multi-center

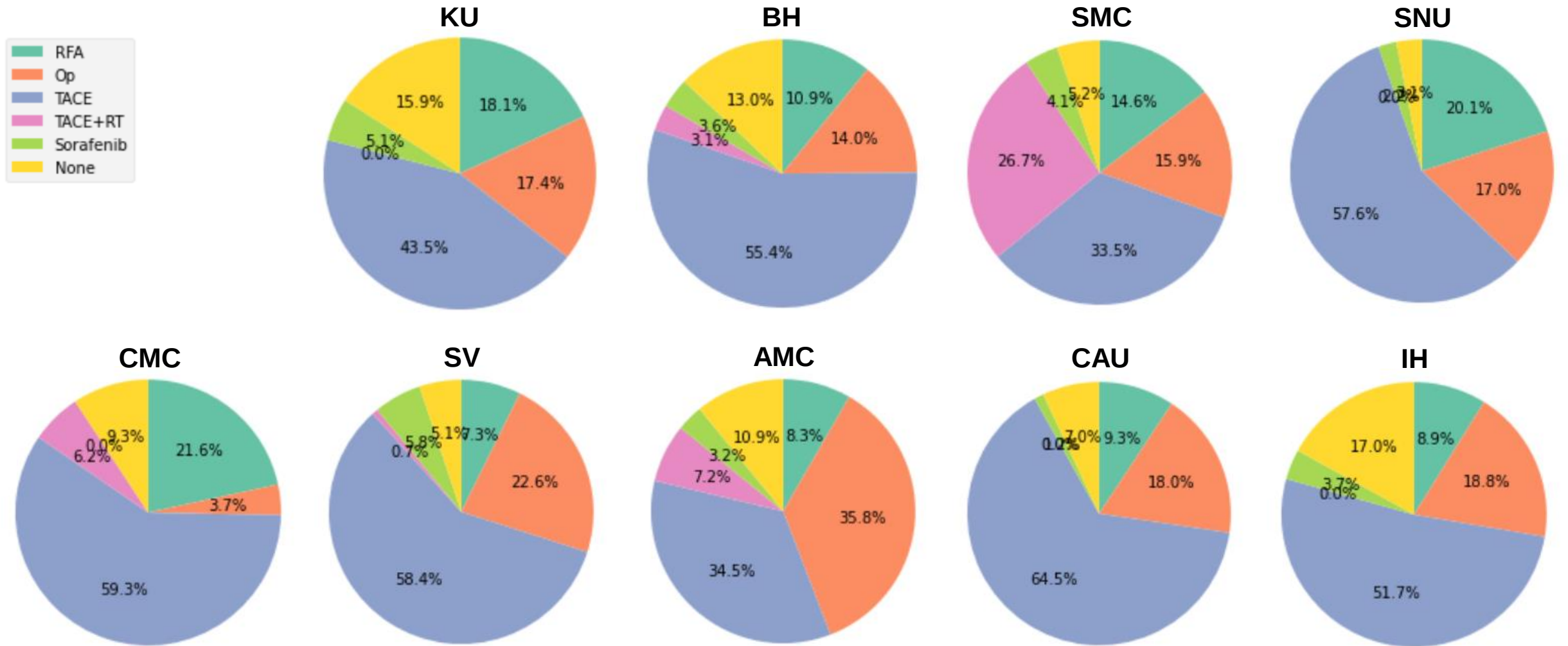
N=2,685, HCC patients newly diagnosed between **2010.01-2012.12** with **20 key variables**

AMC dataset were randomly allocated to the training or internal validation set at a ratio of 4:1, and **all dataset from other centers** were allocated to external validation set.

Treatment	KU	BH	SMC	SNU	CMC	SV	AMC	CA	IH	Total
RFA	25	21	64	45	35	10	78	16	24	318
Op	24	27	70	38	6	31	335	31	51	624
TACE	60	107	147	129	96	80	323	111	140	1,214
TACE+RT	0	6	117	0	10	1	67	0	0	179
Sorafenib	7	7	18	5	0	8	30	2	10	90
Supportive care	22	25	23	7	15	7	102	12	46	260
Transplantation	0	1	25	4	2	19	46	1	0	98
Tx_others	15	4	12	0	33	36	40	8	3	151
Total No.	138	193	439	224	162	148	935	171	275	2,685

KU = Korea university guro hospital, BH = Seoul national university bundang hospital, SMC = Samsung medical center, SNU = Seoul national university hospital, CMC = Catholic medical center, SV = Severance hospital, AMC = Asan medical center, CA = Chung-ang university hospital, IH = Inha university hospital

Hepatocellular carcinoma : Multi-center



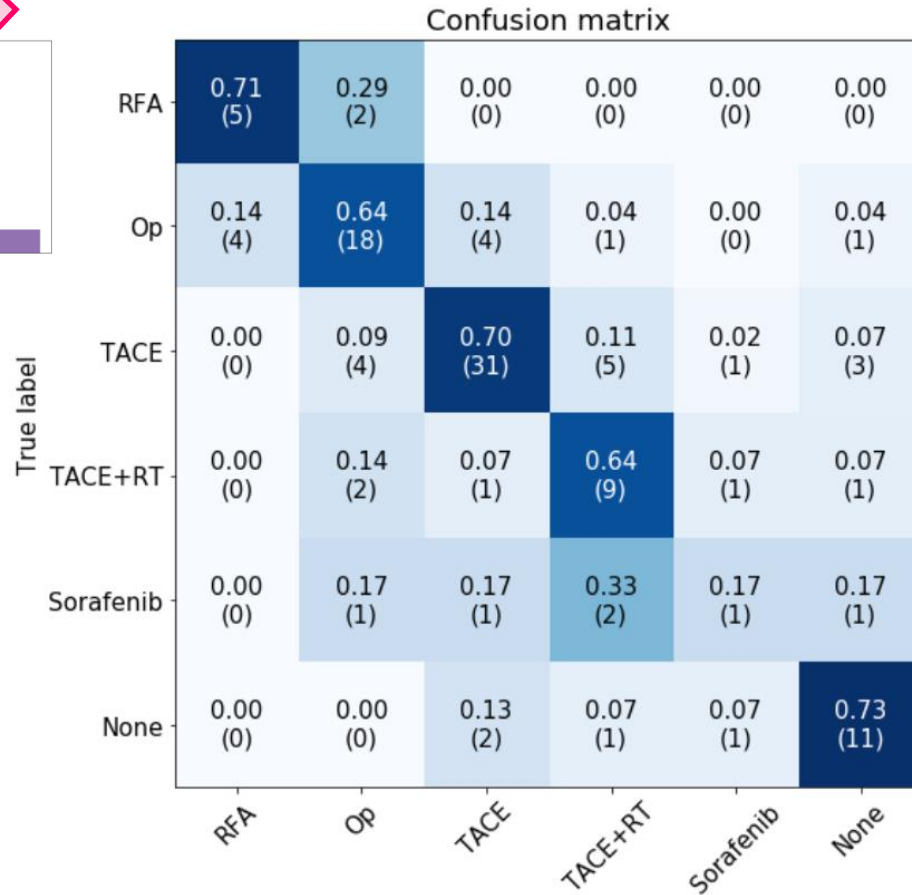
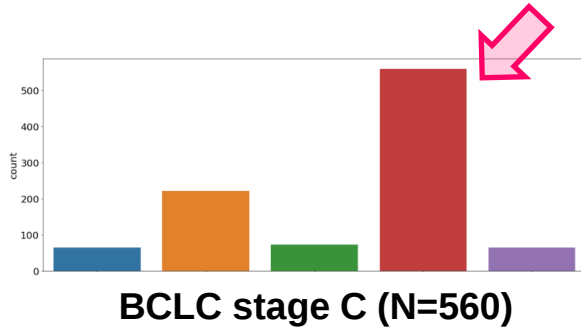
Hepatocellular carcinoma : Multi-center

Overall accuracies for treatment classification

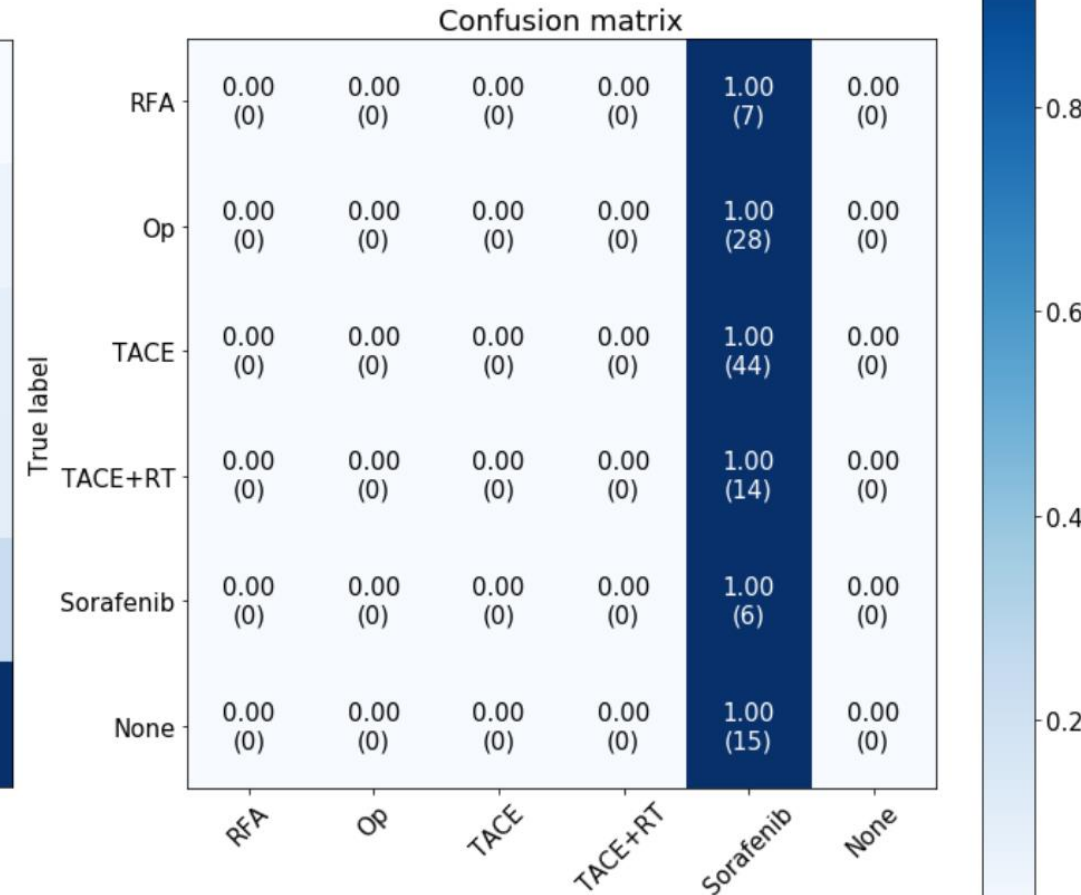
	KU	BH	SMC	SNU	CMC	SV	AMC	CA	IH
1st prediction = True label									
Overall accuracy	0.62	0.54	0.59	0.50	0.48	0.59	0.63	0.61	0.51
weighted f1-score	0.64	0.55	0.59	0.53	0.55	0.57	0.62	0.64	0.53
1st prediction $\cup$ 2nd prediction = True label									
Overall accuracy	0.91	0.88	0.85	0.81	0.85	0.86	0.85	0.91	0.81
weighted f1-score	0.92	0.86	0.84	0.83	0.86	0.85	0.84	0.92	0.81
Cascaded method : 1 st prediction = True label									
Overall accuracy	0.57	0.55	0.56	0.49	0.46	0.54	0.56	0.61	0.54
weighted f1-score	0.58	0.56	0.56	0.51	0.54	0.53	0.56	0.63	0.55
Cascaded method : 1 st prediction $\cup$ Alternative Tx option = True label									
Overall accuracy	0.79	0.75	0.77	0.68	0.75	0.80	0.72	0.77	0.67
weighted f1-score	0.80	0.75	0.77	0.72	0.78	0.80	0.73	0.79	0.69

Hepatocellular carcinoma : Application

Recommended Tx for BCLC C group in testset (N = 120)



Recommended by ML classifier



Recommended by BCLC stage

Hepatocellular carcinoma : Center Comparison

Experiments : 환자 수가 많고, 학습이 안정적인 두 center 기준으로 나머지 center의 validation 시도

	KU	BH	SMC	SNU	CMC	AMC	CAU
Resection	24	27	70	36	6	336	31
RFA/PEIT	25	21	64	41	35	77	16
LT	0	1	25	3	2	46	1
TACE	60	107	147	126	97	322	111
TACE+RT	0	6	117	0	10	67	0
Sorafenib	7	7	18	5	0	31	2
Supportive care	22	25	23	4	13	103	12
Total No.	138	194	464	215	163	982	173



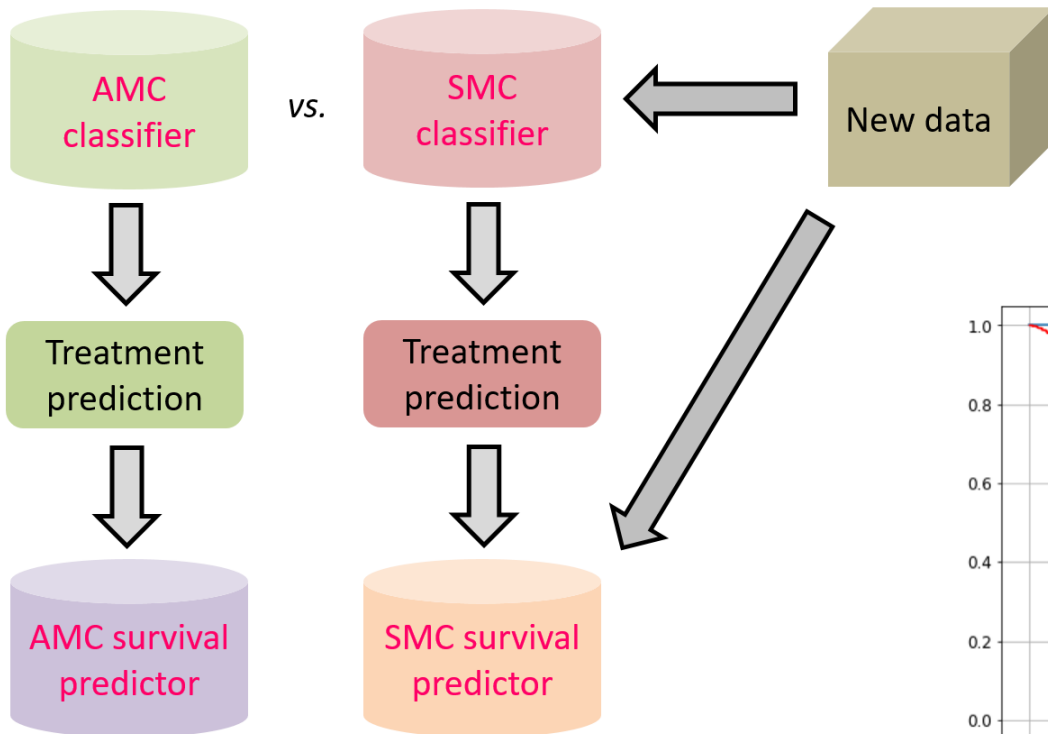
Model
building



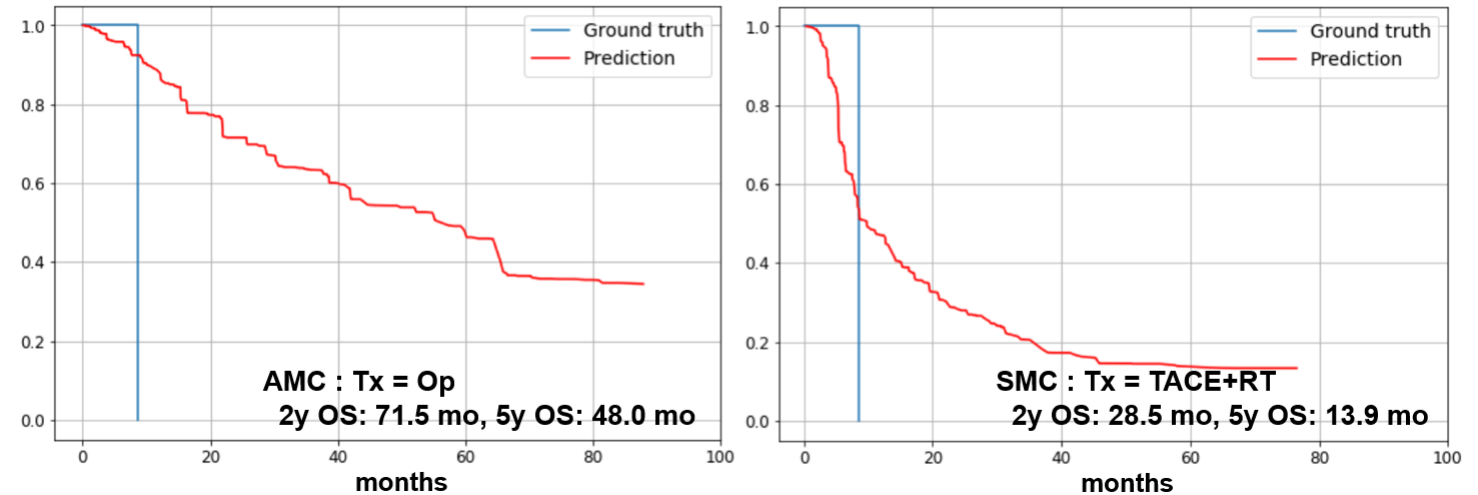
Model
building

Hepatocellular carcinoma : Application

Digital twin hospitals for simulation



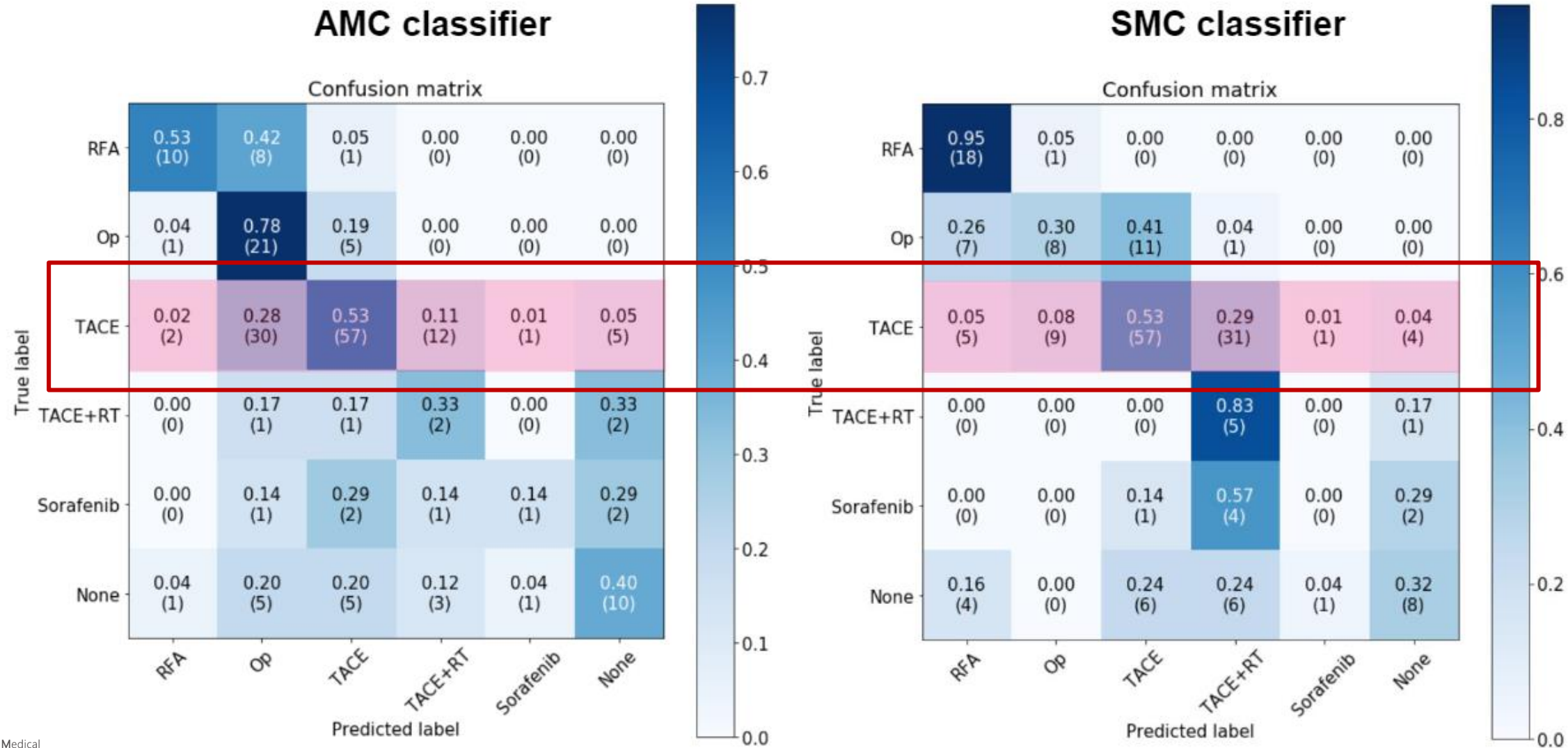
Example of KU patient treated with TACE



Hepatocellular carcinoma : Application

Digital twin hospitals for simulation

BH cases

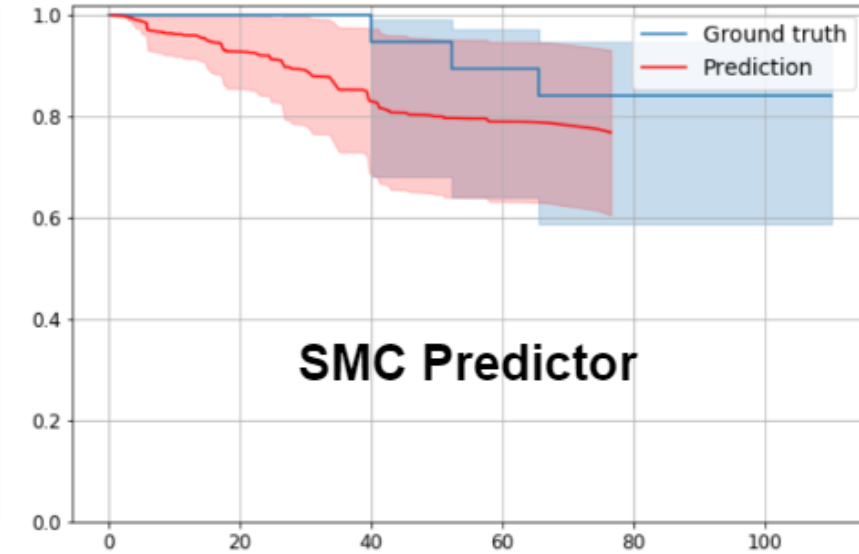
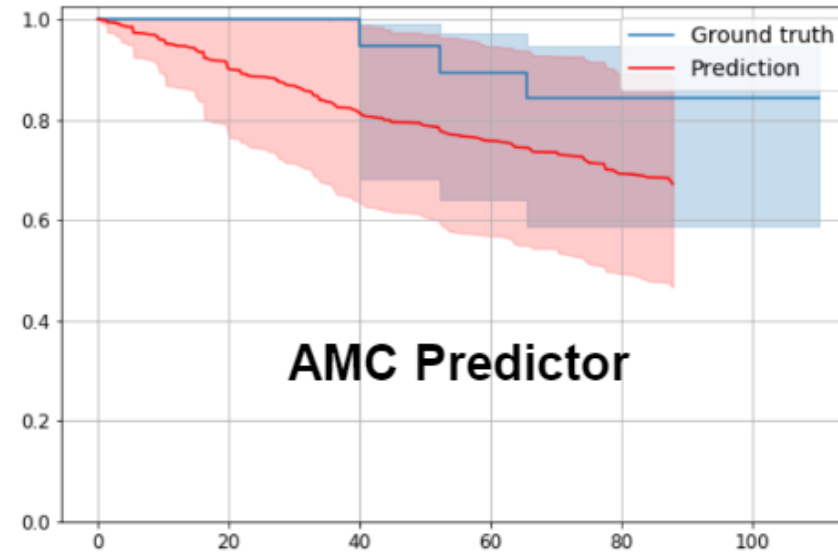


Hepatocellular carcinoma : Application

Digital twin hospitals for simulation

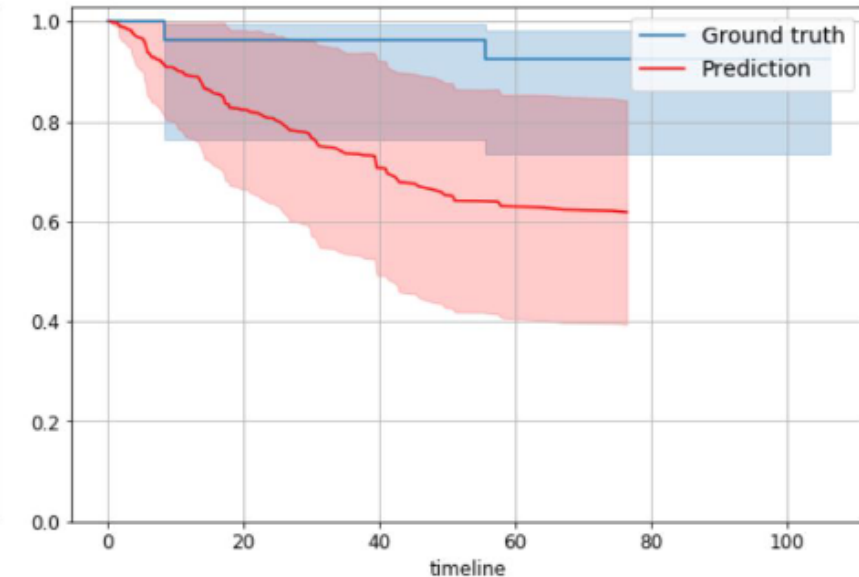
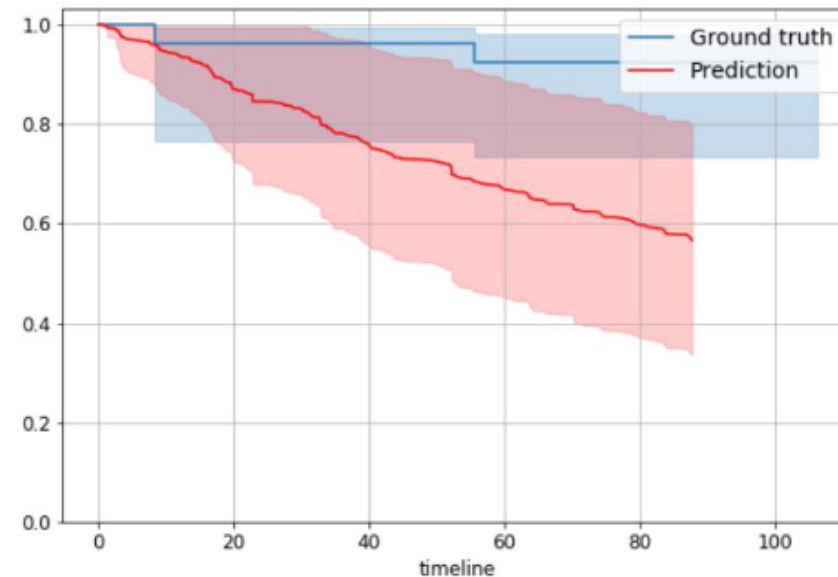
Center = BH, Tx = RFA

	AMC	SMC
n	19	19
C-index	0.7843	0.8039
Bootstrap	0.8039 (0.7748-0.8329)	0.8296 (0.8007-0.8584)



Center = BH, Tx = Op

	AMC	SMC
n	27	27
C-index	1.0	0.9803
Bootstrap	1.0 (nan-nan)	0.9776 (0.9702-0.9850)

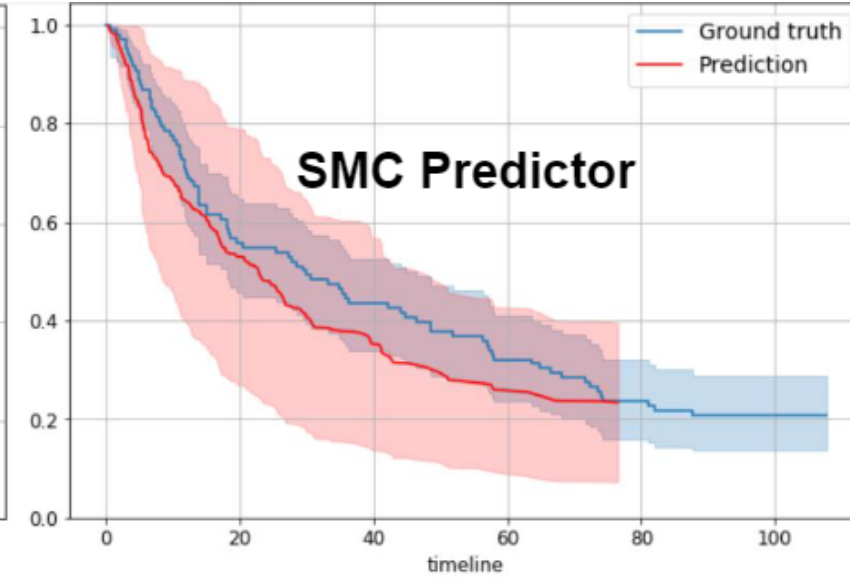
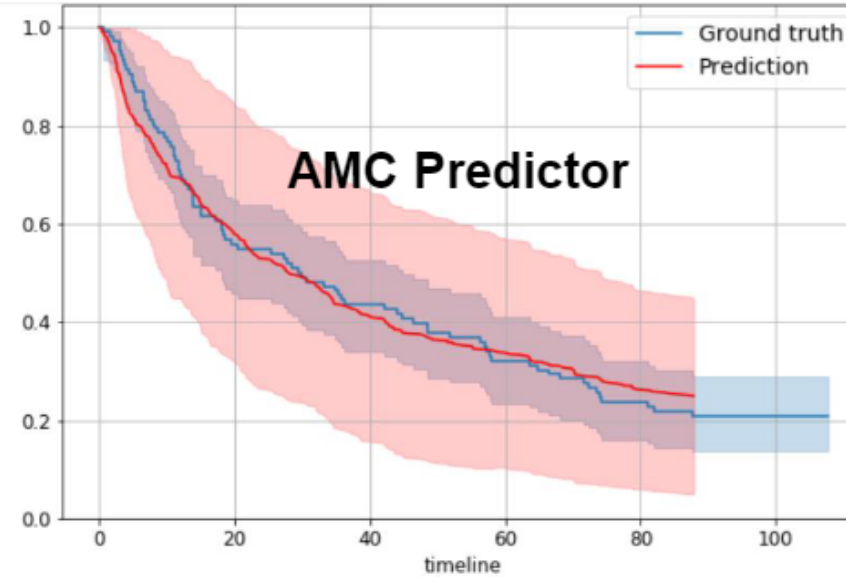


Hepatocellular carcinoma : Application

Digital twin hospitals for simulation

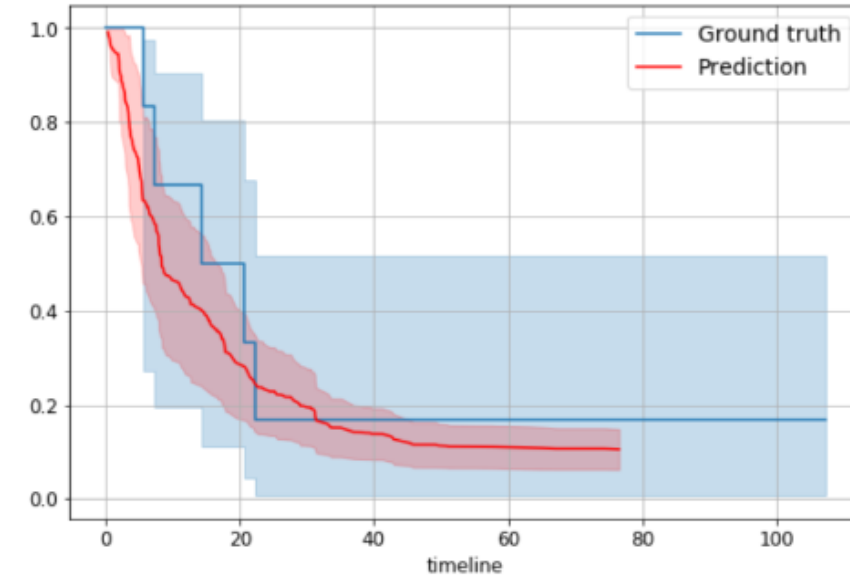
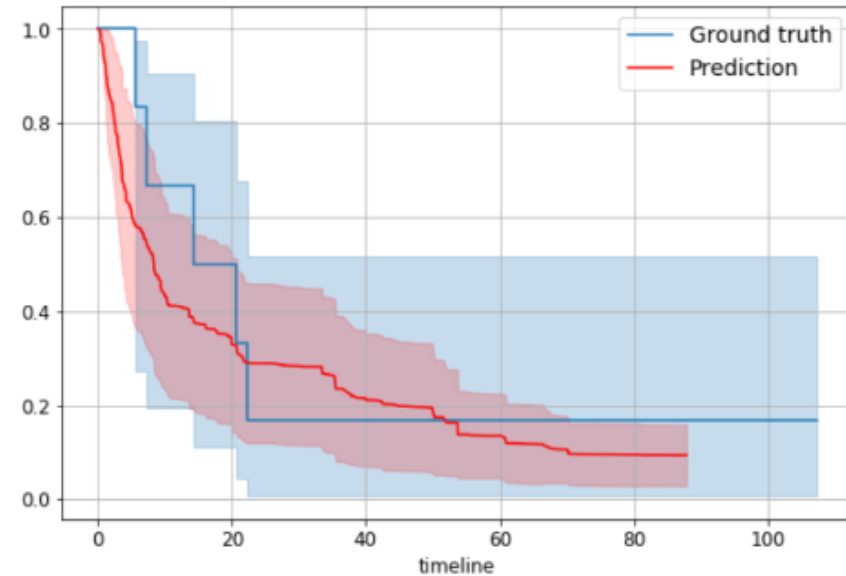
Center = BH, Tx = TACE

	AMC	SMC
n	107	107
C-index	0.7222	0.7274
Bootstrap	0.7307 (0.7251-0.7362)	0.7317 (0.7271-0.7364)



Center = BH, Tx = TACE+RT

	AMC	SMC
n	6	6
C-index	0.4666	0.4666
Bootstrap	0.5396 (0.5004-0.5788)	0.5336 (0.4937-0.5735)



포스트 코로나 시대와 디지털 트윈

■ 산업 영역의 자동화와 인공지능화가 주요 이슈로 두각

◆ 제조 기술에 ICT 기술을 접목해 생산성을 제고 필요

- 생산기지의 글로벌화 : 코로나19로 인해서 크게 타격
- 지역 내지 국가 중심으로 밸류 체인(Value Chain)이 강화
- 제조 비용이 지속적으로 증가하고 생산 인력이 감소

◆ 디지털 트윈 : 결과를 미리 예측

- 사물인터넷을 통해 수집된 빅데이터를 이용해 현실에서 발생할 수 있는 상황을 시뮬레이션

■ 의료 디지털 트윈

- ◆ 원격 의료
- ◆ 환자/의사/병원 디지털 트윈 vs 가치

Collaborators

Radiology

Joon Beom Seo, SangMin Lee^{A,B}
Dong Hyun, Yang, Hyung Jin Won
Ho Sung Kim, Seung Chai Jung
Ji Eun Park, So Jung Lee
Jeong Hyun Lee, Gilsun Hong

Pathology

Hyunjeong Go, Gyuheon Choi
Gyungyub Gong, Dong Eun Song

Cardiology

Jaekwan Song, Jongmin Song
Young-Hak Kim

Anesthesiology

Sung-Hoon Kim, Eun Ho Lee

Neurology

Dong-Wha Kang, Chongsik Lee
Jaehong Lee, Sangbeom Jun
Misun Kwon, Beomjun Kim, Sun Kwon,
Eun-Jae Lee

Surgery

Beom Seok Ko, JongHun Jeong
Songchuk Kim, Tae-Yon Sung

Gastroenterology

Jeongsik Byeon, Kang Mo Kim, Do-hoon Kim

Emergency Medicine

Dong-Woo Seo

Pulmonology and Critical Care Medicine

Yoen-mok Oh, Sei Won Lee, Jin-won Huh

